



La cuenca del río Bao y su área de influencia

Santiago de la Fuente García sj



La presente publicación de Santiago de la Fuente García sj, puede considerársela como su **obra póstuma**. La que quiso ver publicada en vida pero que no pudo ser por falta de apoyo económico de las Administraciones dominicanas. Lo que aquí se presenta, en cierta medida no está totalmente actualizado, pues debió haber sido publicado en 1997. Aun así conserva toda la valía de un concienzudo estudio, bien estructurado y documentado, y es una joya para los estudiosos y buscadores de información sobre la cuenca del Bao y del Yaque del Norte, incluida la historia de los sistemas de riego de las mismas y algo del país.

Es una profunda investigación, basada en los 162 estudios anteriores, que incluye las **características, aprovechamientos, problemáticas y perspectivas de futuro de dicha cuenca**, facilitando implementar una política hidrográfica de calidad, que contribuya al Desarrollo Nacional. Su concepto del Desarrollo es su constante, y por ello, este enjundioso trabajo sin duda alguna, se le puede considerar como un aporte en este sentido, como ayuda para la mejora del pueblo dominicano. Esta constante, se destaca/resalta a lo largo de su vida y de sus publicaciones.

Estas páginas contienen **información muy valiosa y detallada** sobre los recursos hídricos, su manejo y preservación en la República Dominicana, de un área vital del país, donde nacen los ríos más importantes de su geografía, la zona del Cibao. Zona, también, de gran impacto agrícola para la economía dominicana. Esta obra es, además, una llamada de atención a lo que representa un adecuado manejo de las aguas y su incidencia en la vida de la población, para contribuir a su Desarrollo, tanto humano y social, como económico.

Como dominicano, me llena de alegría y satisfacción que esta publicación esté a partir de ahora no solo al alcance de interesados y estudiosos de la materia sino también porque así **se reconoce una investigación muy bien elaborada**, algo que sus alumnos conocemos muy bien, desde nuestra época de estudiantes en nuestro Colegio Loyola de Santo Domingo.

Juan Manuel Prida Busto

© 2014 Vicente de la Fuente García

Edición al cuidado de José Francisco Febrillet Huertas y Juan Manuel Prida Busto

Composición gráfica y diagramación: Giuseppe Di Vanna

Diseño de portada y contraportada: Giuseppe Di Vanna

Fotografía de portada: “El valle de Bao”, Roberto Torres (© derechos de autor)

Depósito Legal: C 1375-2014

Imprime: LUGAMI - Betanzos (España)

Nota del Editor

El haberse podido publicar esta investigación, se debe en gran medida a la complementación efectuada por **D. José Francisco Febrillet Huertas**, ingeniero muy vinculado a la misma desde su inicio, incorporando ahora para su conclusión cuadros estadísticos, mapas, fotografías y diagramas, que el autor ya tenía reconocidos y no pudieron incluirse en su momento por diversas circunstancias.

También tenemos mucho que agradecer a dos exalumnos del autor, del Colegio Loyola de Santo Domingo, a saber:

La gran meritoria labor de **D. Juan Manuel Prida Busto**, que sin su ayuda y colaboración habría sido muy difícil el que esta obra haya salido a la luz, con sus escaneados, correcciones de textos y coordinación.

Con la cuidada maquetación-diagramación de **D. Giuseppe Di Vanna** se puede ver terminada felizmente la obra realizada, aunque no pudo ser disfrutada en vida por el autor.

Y con el mecenazgo de la **Familia Rizek**.

A todos estos dominicanos,
desde el Betanzos natal del P. Santiago de la Fuente García sj,

Muchas gracias.

Vicente de la Fuente García
12 de septiembre de 2014

PRESENTACIÓN

La presente publicación de Santiago de la Fuente García sj, puede considerársela como su obra póstuma. La que quiso ver publicada en vida pero que no pudo ser por falta de apoyo económico de las Administraciones dominicanas, y que ahora sale a la luz gracias al empuje y tesón de su familia desde España.

Lo que aquí se presenta, en cierta medida no está totalmente actualizado, pues debió haber sido publicado en 1997. Aun así conserva toda la valía de un concienzudo estudio, bien estructurado y documentado, y es una joya para los estudiosos y buscadores de información sobre la cuenca del Bao y del Yaque del Norte, incluida la historia de los sistemas de riego de las mismas y algo del país. Como modificaciones sugeridas, menciona que en el embalse del Bao existe una conexión futurista para instalar una turbina adicional. Se le han incorporado cuadros estadísticos, mapas, fotografías y diagramas, que el autor ya tenía reconocidos.

Es una profunda investigación, basada en los 162 estudios anteriores, que incluye las características, aprovechamientos, problemáticas y perspectivas de futuro de dicha cuenca, facilitando implementar una política hidrográfica de calidad, que contribuya al Desarrollo Nacional.

Su concepto del Desarrollo es su constante, y por ello, este enjundioso trabajo sin duda alguna, se le puede considerar como un aporte en este sentido, como ayuda para la mejora del pueblo dominicano. Esta constante, se destaca/resalta a lo largo de su vida y de sus publicaciones. Ya en su *Geografía Dominicana*, esta idea la utiliza con mucha frecuencia y en la dedicatoria de la misma dice “A cuantos trabajan por el Desarrollo y el bienestar”.

En su trabajo ***Educación para el Desarrollo*** deja bien claro la importancia que a este término le da, y sin duda alguna su última publicación, editada por sus alumnos Loyola⁷³ ***Se buscan realizadores para una Dominicana mejor***, tiene como objetivo final el Desarrollo de su país de adopción.

Santiago de la Fuente García sj, siguiendo su pasión por la geografía, iniciada en 1976 con la publicación de la primera y única ***Geografía Dominicana***, años después se embarcó en este proyecto de envergadura que comenzó a elaborar hace dos décadas.

En septiembre de 1993, firmó un contrato por un año, prorrogable, con el Director Ejecutivo del Instituto Dominicano de Recursos Hidráulicos (INDRHI) para la elaboración del proyecto Ríos y Lagos en la República Dominicana, con un salario de 30,000 pesos (unos 500 euros actuales) más “gastos de movilidad y/o dietas”.

Tres años después, en 1996, el contrato queda rescindido. En 1997 le escribe al Secretario de Estado de Agricultura solicitando financiamiento para el libro La cuenca del río Bao. En octubre de 2000 firma un contrato por un año prorrogable y 15,000 pesos (unos 250 euros actuales) mensuales más dietas, para preparar un disco compacto sobre La cuenca del río Bao y elaborar el libro La cuenca del Yaque del Norte.

El 2 de julio de 2001 remite al Departamento de Publicaciones de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales tres disquetes con texto y apéndices sobre la cuenca del río Bao, diseño de los tres primeros capítulos y fotografías.

El 29 de julio de 2001, en lo que parece ser el último intento, pues no se conoce ninguna otra carta en ese sentido, acude de nuevo al INDRHI, solicitando “ayuda para realizar viaje a la cuenca del Bao y su área de influencia, para tomar fotos”.

Aquí concluye el peregrinaje. Prácticamente ocho años transcurrieron desde el inicio de este proyecto hasta el momento en que Santiago de la Fuente dejó de tocar puertas en busca de apoyo.

Felizmente, esta investigación que permaneció inédita tantos años por falta de fondos - públicos o privados -, es ya una realidad que lleva por título ***La cuenca del río Bao y su área de influencia***.

Estas páginas contienen información muy valiosa y detallada sobre los recursos hídricos, su manejo y preservación en la República Dominicana, de un área vital del país, donde nacen los ríos más importantes de su geografía, la zona del Cibao. Zona, también, de gran impacto agrícola para la economía dominicana.

La obra es, además, una llamada de atención a lo que representa un adecuado manejo de las aguas y su incidencia en la vida de la población, para contribuir a su Desarrollo, tanto humano y social, como económico.

No puede terminar esta presentación sin rendir honor a quien honor merece por realizar este sueño del P. Santiago de la Fuente García sj. Su hermano, D. Vicente de la Fuente García, ha sido el entusiasta promotor de una idea que hace tan solo un año lucía si no imposible, prácticamente una quimera. Su decisión y total apoyo han hecho que este aparente imposible se haya convertido en un algo concreto de unas cuatrocientas páginas.

Como dominicano, me llena de alegría y satisfacción que esta publicación esté a partir de ahora no solo al alcance de interesados y estudiosos de la materia sino también porque así se reconoce una investigación muy bien elaborada, algo que sus alumnos conocemos muy bien, desde nuestra época de estudiantes en nuestro Colegio Loyola de Santo Domingo.

Juan Manuel Prida Busto

ÍNDICE

Capítulos:

1. Introducción	9
2. Clima	19
3. Recursos hídricos	77
4. Disponibilidad y demanda de los recursos hídricos en la cuenca de Bao	95
5. Proyecto Bao	181
5A. Contraembalse de López	279
6. Otras obras y proyectos de aprovechamiento hidráulico	297
7. Recursos naturales	309
8. Erosión, sedimentación y recursos hídricos	331
9. Plan de manejo y conservación para la cuenca de Bao	353
10. Instituciones que operan en la zona	369
Bibliografía	377

1. INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

<i>Situación</i>	10
<i>Hidrología</i>	10
<i>Geología</i>	11
<i>Geomorfología</i>	12
<i>Zonas de Vida</i>	14
<i>Agricultura</i>	15
<i>Población</i>	16

SITUACIÓN

La cuenca hidrográfica del río Bao está localizada en la vertiente norte de la Cordillera Central, al SO de la ciudad de Santiago. Está ubicada entre los 19° 12' y 19° 22' de latitud norte y los 70° 43' y 71° 12' de longitud oeste.

Está situada **en las provincias de Santiago y La Vega**, abarcando parte de los municipios de Jánico, San José de las Matas y Jarabacoa.

Sus **poblados** principales son Jánico, Juncalito, Las Placetas y Mata Grande. Y las **poblaciones más importantes cercanas a la cuenca**, son Santiago de los Caballeros y San José de las Matas¹.

El **acceso a la zona** se realiza desde las cercanías de Santiago por la carretera que va a **Jánico**, que está en buen estado. Y existe además una **carretera de penetración** a la zona de la cuenca baja y media. La penetración **a la cuenca alta es difícil**, no está asegurada en cualquier época del año y requiere vehículos de doble tracción. Dista unos 170km. de Santo Domingo².

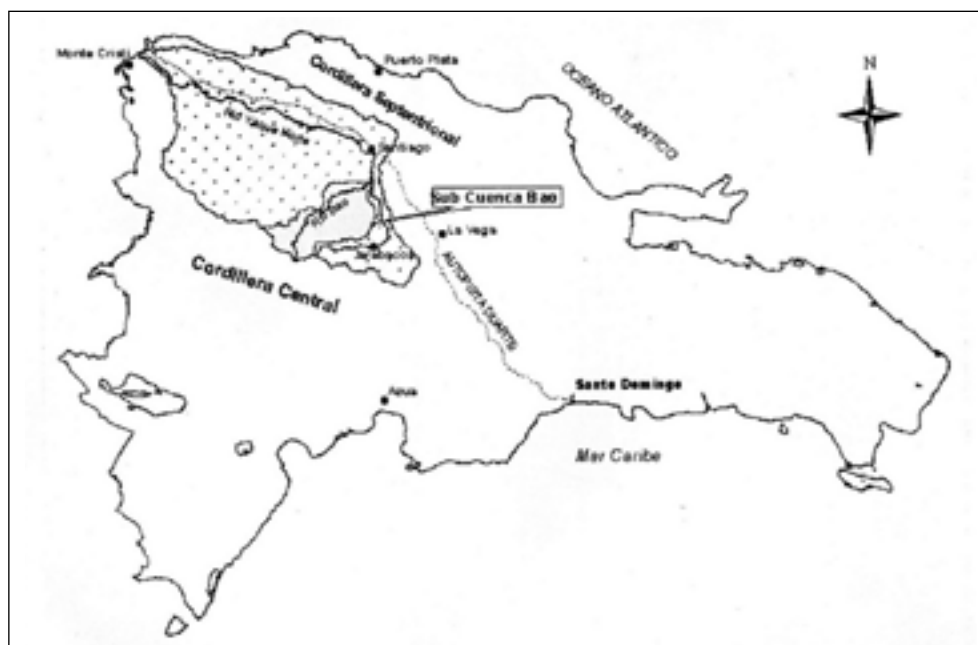


Fig. 1.1 UBICACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO BAO

HIDROLOGÍA

La cuenca del río Bao es sub-cuenca de la cuenca del río Yaque del Norte, y la más importante de todas ellas con una extensión de unos 864km², incluida la reserva forestal del Parque Nacional J. Armando Bermúdez. **El río Bao es el afluente principal del río Yaque del Norte** (ver Fig. 1.2)³.

La cuenca está **drenada por el río Bao y sus cuatro afluentes históricos** (los ríos Jánico, Bao, Jagua, Baiguaque y Guanajuma), que desembocaban directamente en él antes de la construcción del embalse de Bao (1981-1984), y que ahora lo hacen directamente al embalse de Bao, constituido básicamente por la prolongación del río Bao y la acumulación de sus aguas. Aguas que, con el nombre de Bao, llegan al embalse de Tavera a través del canal de interconexión.

¹ Los poblados de la cuenca son, en general, dispersos y de poca población.

² KD-AN2/ 8-9 y KD-AN7to/ 4.

³ La cuenca del Río Bao es una sub-cuenca del Río Yaque del Norte, en el conjunto del país. Pero en sí es una cuenca, y así la llamaremos a lo largo de este libro, para facilitar la comunicación y su mejor caracterización como hizo Kokusai-Desagro KD-AN7U/ 4.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

Cinco sub-cuencas, que están a su vez divididas en 35 micro-cuencas con superficies entre 1,500- 3,000 Has.

El caudal disponible del río Bao con sus afluentes es de unos 19.59 m³/seg., promedio. Y el del *Yaque del Norte* es de 20.47 m³/seg. antes de su confluencia con el Bao, cerca de Sabana Iglesia. El caudal del río Bao es el 30% del caudal total del Yaque Norte.

Y es casi el 50% del caudal utilizado por el complejo de Tavera para generación hidroeléctrica y abastecimiento de agua para riego, acueductos y uso industrial, aguas abajo de Tavera-Bao, incluyendo el acueducto Cibao Central caudal conjunto del Yaque Norte-Bao (40.06 m³/s promedio), gracias al canal de interconexión que une los embalses de Bao y Tavera⁴.

GEOLOGÍA

La cuenca del Bao está dominada por **rocas magnéticas y volcánicas** de edad desconocida. Los cursos principales discurren parcialmente soportados por estratos de *tonalita*, a excepción del río Jánico y el Baiguaque.

La parte norte y sudeste se compone principalmente, como se ha dicho, de rocas volcánicas básicas metamorfoseadas, de edad desconocida. Y en toda la zona se encuentran, además, en mayor o menor cantidad, intrusiones de dioritas y cuarzo, que se han erosionado hasta niveles relativamente bajos. Hacia la zona de Santiago predominan las acumulaciones del terciario, y en este paisaje se encuentran zonas aisladas del cuaternario, no muy extensas.

Un cabalgamiento y una falla aparecen hacia el final del curso de los ríos, marcando una discontinuidad y situando al embalse en conglomerados de areniscas y calizas principalmente, que entornan áreas concentradas de conglomerados constituidos por molasa básicamente⁵.

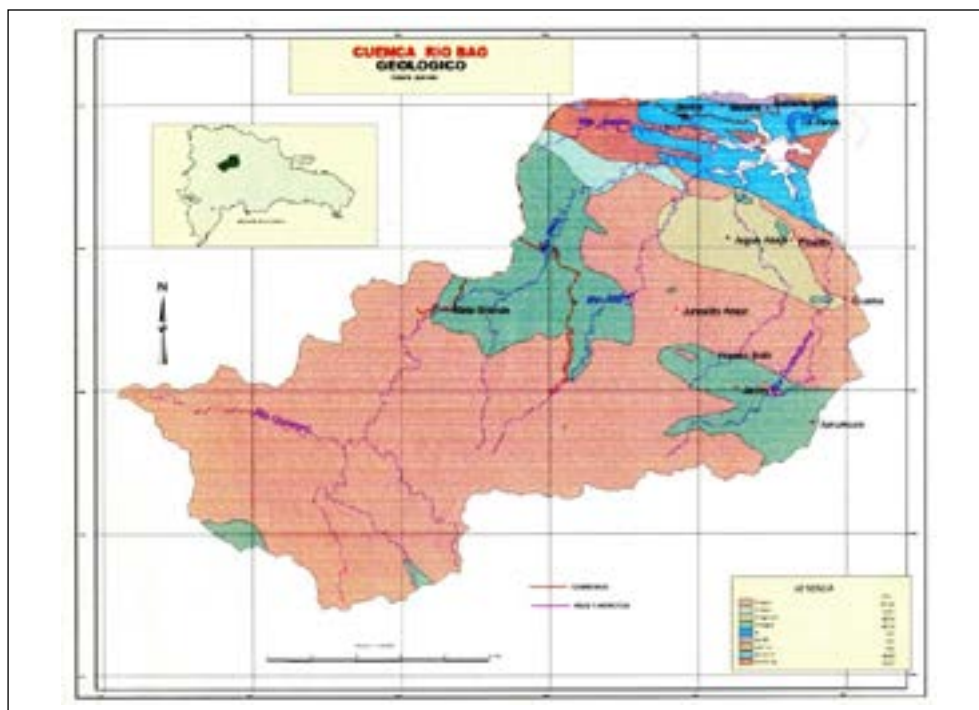


Fig. 1.2 GEOLOGÍA DE LA CUENCA DE BAO

⁴ El potencial hidroeléctrico de la Cuenca del río Bao se estima en unos 300 MW, que corresponde a un 25% de la capacidad nominal del país (1,200 MW), siendo su nivel operación actual entre el 30-60% de ese valor. KD-AN7to 3-5.

⁵ KD-AN2/11-13.

GEOMORFOLOGÍA

La cuenca está ubicada en la **zona más montañosa de la Cordillera Central** casi exclusivamente. En ella se localizan los picos más altos del país, como el Duarte (3,087m) y La Pelona, entre otros, situados cerca del nacimiento del río Bao. Y los ríos Jagua, Guanajuma y Baiguaque nacen en montañas entre 1,300 y 2,000m sobre el nivel del mar⁶.

Su relieve, montañoso y abrupto en la cuenca alta, *se va suavizando a medida que se llega a la zona media y la baja*, donde predominan colinas más o menos suaves, separadas por arroyos de diversa profundidad. El río *Jánico* está localizado en la zona media y baja, nace a 700m sobre el nivel del mar y desemboca en el embalse Bao (antes, en el río Bao), a menos de 400m sobre el nivel del mar.

Según el mapa hipsométrico, o de alturas, de la cuenca del río Bao (Fig. 1.4) más del 80% de la misma está ubicada por encima de los 500m, y más del 30% por encima de los 1,000m de altitud. La distribución de los *rangos de pendientes* se muestra el Cuadro 1.1.



Fig. 1.3 RANGOS DE PENDIENTE CUENCA RÍO BAO

La altura máxima de la cuenca se encuentra a 2,800m sobre el nivel del mar, y la mínima a 230m sobre el nivel del mar en Sabana Iglesia. La parte inferior de la cuenca pertenece al Valle Occidental del Cibao.

La región de Tavera-Bao y la región de Jánico se encuentran en la zona de lomas bajas de la Cordillera Central, detectándose en las mismas lomas altas de calizas y conglomerados del oligoceno (formación Tavera), mioceno medio e inferior. Y hacia la región de Santiago se detectan

6 **Pico Duarte (3,087m).** Eickman calculó la altura del pico Duarte en 3.175m (1925), siendo oficializada por la ley que cambió el nombre del pico a Pico Trujillo (1936).

Las mediciones topográficas de RD hechas por el US Army, con la colaboración del IGU, para elaborar los "Fotomapas de la RD" (1:50.000. 1967) en 72 hojas y el mapa "República Dominicana" (1:50.000. 1970) en 120 hojas con las últimas técnicas, corrigen la altura del Pico Duarte. La Hoja Topográfica le reconoce al Pico Duarte una altura de 3,087m, y a la Pelona también de 3,087m. Existe un margen de error con las técnicas usadas para su medición y hasta ahora no ha habido ninguna corrección científica a dichas mediciones. **FUENTE/ 44.**

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

calizas, margas y conglomerados del mioceno superior, con buzamientos pequeños y relieve bajo, bordeando los depósitos del río.

CUADRO 1.1 - HIPSOMETRÍA DE LAS CUENCAS TAVERA Y BAO

Altura m/snm	Río Yaque del Norte				Río Bao			
	Área en km ²		Porcentaje (%)		Área en km ²		Porcentaje (%)	
	Parcial	Acumul.	Parcial	Acumul.	Parcial	Acumul.	Parcial	Acumul.
3175-2500	2.80	2.80	0.35	0.35	11.50	11.50	1.29	1.29
2500-2000	13.80	16.60	1.73	2.06	88.00	99.50	9.85	11.14
2000-1500	139.20	155.80	17.40	19.48	145.50	245.00	16.28	27.42
1500-1000	355.90	551.50	44.45	63.82	255.00	500.00	28.54	55.96
1000-700	114.40	625.80	14.30	78.43	166.00	666.00	18.58	74.54
700-500	127.70	753.50	15.97	94.20	134.00	800.00	15.00	89.54
500-300	47.20	800.70	5.90	100.00	83.50	886.50	9.68	99.22
300-195					7.00	893.50	0.78	100.00

Fuente: CDE, 1972. Estudio de Factibilidad Tavera-Bao, Tomo III-6, p. 9



Fig. 1.4 - GEOMORFOLOGÍA REGIÓN YAQUE DEL NORTE

Nomenclatura:

- III: Vertiente sur de la Cordillera Septentrional. Formada por: 1. Calizas y Esquitos, 2. Terrenos Cársticos.
- IV-A: Valle Occidental del Cibao. Formada por: 1. Aluvión, 2. Terrazas del Yaque del Norte, 3. Ciénagas Costeras, 4. Conglomerados Miocénicos de Bajo Relieve, 5. Calizas y Conglomerados del Mioceno, 6. Esquitos, 7. Margas y Conglomerados del Mioceno, 8. Depósitos Lacustre Marino, 9. Abanicos Aluviales, 10. Banco de Arena, 11. Ciénega.
- XI: Vertiente norte de la Cordillera Central. Formada por: 7. Intrusiones de Diorita y Cuarzo, 8. Tobas, 9. Materiales Volcánicos, y 12. Rocas Volcánicas muy Meteorizadas.
- XII: Valles intramontanos de la Cordillera Central. Formada por: 1. Suelo Aluvial, y 2. Colinas de Granodioritas Meteorizadas.

Fuente: INDRHI, 2006. Cuencas Hidrográficas, Plan Hidrológico Nacional.

Tres sectores característicos pueden distinguirse en la cuenca, en base a sus condiciones geográficas y altitud:

1) El *sector bajo* se inicia en el área del embalse de Bao. Predomina el releve de colinas con laderas cortas. Y el uso de la tierra tiende a ser agrícola, dándose la ganadería en menor proporción.

2) El *sector medio*, a partir de la cota 500m sobre el nivel mar, presenta un relieve con planicies y lomas. En él se localizan las micro-cuencas de mayor extensión, superando algunas las 3,000 hs. El uso de la tierra es ganadero predominantemente, con pastos degradados, teniendo algunos cultivos agrícolas, frutales y de autoconsumo.

3) Y el *sector alto*, básicamente a partir de 1,000m sobre el nivel del mar, tiene muchas zonas con pendientes escarpadas, estando dedicado a la producción forestal que es su vocación natural. Tiene los mayores recursos forestales productivos de la cuenca y gran parte de esta zona parte del Parque Nacional. Sus micro-cuencas tienen menos de 2,000 hs, en general.

Capacidad de Uso del Suelo⁷. Los sectores bajo y medio de las cuencas de los ríos Bao y Jánico tienen algunas superficies con aptitud agrícola. Mientras que las cuencas de los ríos Jagua, Baiguaque y Guanajuma muestran una vocación ganadera, forestal y de protección, principalmente.

En el *sector alto* la capacidad de uso de todas las cuencas es claramente forestal.

Tres tipos de usos principales se distinguen en la cuenca, que están en armonía con su vocación natural:

1. Una gran superficie de *bosque denso* en la que se incluye el *Parque J. Armando Bermúdez*, declarado zona de protección.

2. Una gran superficie de *bosque ralo*, *arbustos* y *pasturas* en donde se desarrolla una *ganadería* no muy extensa, que no presenta grandes problemas de manejo. Superficie que, bien manejada, puede contribuir fuertemente a la protección de los suelos, como cubierta natural.

3. Y una pequeña superficie, en la cual se desarrolla y puede desarrollarse la *agricultura*. Agricultura cuya limitada extensión está asegurada de una expansión incontrolada, por las condiciones topográficas del área, y que puede mejorarse⁸.

ZONAS DE VIDA

En la cuenca se presentan **seis zonas de vida** o tipo de bosque, bien definidas: bosque húmedo subtropical de transición, seco subtropical muy húmedo subtropical muy húmedo montano bajo y muy húmedo montano. Y hay una ***vahada vida silvestre***, cada vez más amenazada por la acción humana, y pequeñas áreas que se han mantenido poco alteradas especialmente cercanas a ríos y arroyos.

La vegetación actual es al resultado de la agresiva deforestación de los bosques de pinos y latifoliadas durante los últimos 40-50 años y del carácter e intensidad del uso actual de la tierra. La cobertura actual de la tierra es un mosaico de bosques, plantaciones de café, matorrales, pequeñas parcelas con cultivos diversos (conucos) y extensas áreas en pastos naturales⁹.

⁷ **La capacidad de uso del suelo** es el uso más intensivo que se le puede dar a una tierra con un rendimiento sostenido y estable, sin que disminuya su capacidad productiva. Lo que implica un manejo adecuado de los suelos y prácticas de conservación, para evitar el deterioro de su capacidad productiva y la alteración de los otros recursos naturales que inciden en su productividad.

En la cuenca de Bao se identificaron *ocho grupos de uso y manejo*, que incluyen áreas que tienen características similares en cuanto a su aptitud natural para la producción: forestal, pastos, pastos y bosques, café, árboles de rápido crecimiento, frutales, cultivos anuales y tierras de protección. Se definieron en forma preliminar por los datos de suelos y pendientes, señalando las principales limitaciones para un uso diferente al de su capacidad.

El Inventario físico de la cuenca de Bao identificó *siete grupos de manejo establecidos en 23 micro-cuencas*. Cubren 55,840hs, exceptuando el área del Parque Nacional, y de ellas están en áreas críticas 29,475hs (35% de la cuenca). Se recomendó hacer un estudio detallado de la capacidad de uso de la tierra en toda la cuenca.

Para una descripción de los grupos de manejo ver **KD-IF/ 75-77** y **KD-AN11**.

⁸ **KD-AN1/ 15, KD-AN2/ 13, KD-AN7/ 4 y KD-AN7s/ 5.**

⁹ **CID-J&M/ 5.**

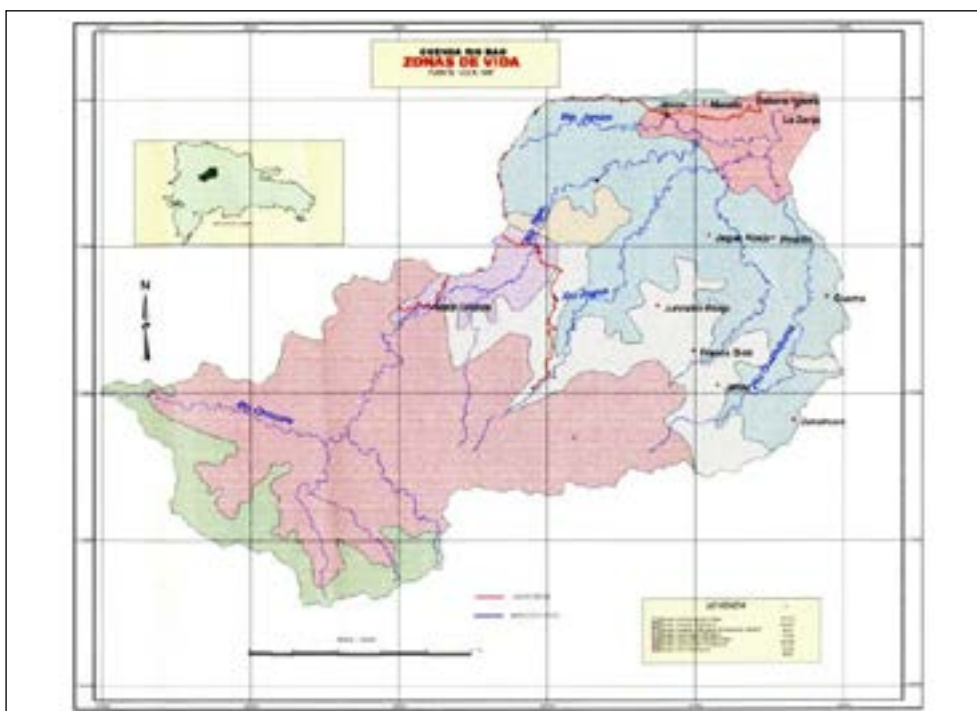


Fig. 1.5 ZONAS DE VIDA CUENCA DE BAO

AGRICULTURA

En estas zonas de vida se ha desarrollado una *comunidad rural reducida*, dedicada a una **agricultura incipiente y de poca importancia**, orientada fundamentalmente al café. Los sistemas de producción agrícola son casi todos agroforestales. Existen mezclas de cultivos arbóreos comerciales (café), cultivos anuales y pastos.

Por todo ello la cuenca puede definirse como una cuenca **aún no explotada, más allá de su posible recuperación**, sino *muy adecuada para desarrollar en ella un plan sistemático de manejo y conservación* de la cuenca¹⁰.

SUELOS DE LA CUENCA DE BAO

Los suelos de la cuenca del Bao son *residuales*, en general, y *su uso está condicionado por la pendiente y el clima*.

Una primera **agrupación** de los suelos de la cuenca del Bao ha definido *tres grupos de suelos*:

1. **Suelos aluvionales actuales y recientes.** Se encuentran principalmente en ambas márgenes del río Bao y sus tributarios, ubicándose en terrazas bajas, angostas y generalmente inundables. Son áreas reducidas. En los cauces fluviales mayores, los suelos son profundos, con buena potencialidad de uso. En los cauces menores son superficiales, gravosos e inundables. Su potencialidad es para cultivos intensivos adaptables al medio, como habichuela, maíz, sorgo, batata y guandules.
2. **Suelos coluviales.** Se distribuyen en la parte baja de las colinas y montañas. Son suelos moderadamente profundos a profundos, disminuyendo a medida que aumenta la pendiente. Son potencialmente aptos para frutales y pastos cultivados adaptables a las condiciones del medio ecológico.
3. **Suelos residuales.** Ocupan las colinas y montañas con pendientes mayores de 32%. Son suelos poco desarrollados, superficiales, con abundante pedregosidad y rocosidad. Su uso se orienta al aprovechamiento forestal en áreas con pendientes de 40-60%. Y a protección forestal y vida silvestre en áreas con pendientes mayores de 60%.*

10 CID-J&M/ 5 y KD-IF/ 10.

Los suelos de la cuenca del Bao son “tierras no regables”, en general, según una clasificación de la OEA (1981), basada en estudios de la SEA y FAO principalmente. Algunos son *regables en condiciones especiales*, dependiendo de sus condiciones topográficas.

Los suelos de mejor condición para ser regados fueron detectados “sólo en zonas aisladas” y “presentarían dificultades de drenaje interno a causa de su perfil con acumulaciones de arcilla”.

Los suelos más extendidos en la zona son “suelos de textura franco arenosa poco desarrollada, litosoles, con horizonte superior enriquecido con algo de materia orgánica de espesor muy variable. Son suelos de escasa fertilidad, muy lavados y de probable ph ácido.

En general son suelos clase IV según la clasificación del USBR.

Para plantear una **estrategia general de la utilización de los recursos hidráulicos** de la cuenca es necesario analizar el *emplazamiento de los terrenos que están bajo riego, o son potencialmente regables* en condiciones de producir un beneficio de cualquier orden, al analizar la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca. Así como el proyecto de *Los Montones*, el Plan Sierra, y otros.

* Se hicieron **estudios sobre los suelos de la cuenca del río Bao**, a partir de 1979, por el Dpto. de Tierras y Aguas de la SEA como primera aproximación a un Plan de Manejo y Conservación de esta sub-cuenca. Como resultado de una solicitud presentada por el Gobierno de la República Dominicana al BID para el financiamiento del “Estudio de Factibilidad del Plan de Manejo y Conservación de la Sub-cuenca del Río Bao”, éste requirió profundizar el estudio de suelos de la parte media y baja, a un nivel semi-detallado, en el año 1983. Y Kokusai-Desagro profundizó el inventario de los suelos de la cuenca haciendo un estudio más detallado en las áreas críticas, el “Estudio Semi-detallado de Suelos”. Ver KD-AN11.



Fig. 1.6 CAPACIDAD PRODUCTIVA CUENCA RÍO BAO

POBLACIÓN

La población de la cuenca del río Bao se estima en unos 83,900 habitantes, destacando el *carácter abrumadoramente rural de la misma* (el 92,8% vive en el campo y un 7.20% en la zona urbana)¹¹.

¹¹ **Población.** Los últimos datos disponibles son los del Censo de Población y Vivienda de 1981. El crecimiento intercensal entre 1970-1981 se estima en un 276%.

La *carencia de grandes poblados* y la no existencia de zonas urbanas de importancia en la cuenca, con excepción de Jáncico, *favorecen el manejo y control* de la cuenca hidrográfica, que se complica cuando incluye grandes poblaciones.

KD-IF/ 46.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

La densidad poblacional va aumentando de la parte alta de la cuenca a la baja, donde se registra la mayor población. La parte mas baja de la cuenca tiene el uso más intenso de la tierra, y se espera que la mayor parte del aumento poblacional se concentre en la parte baja de la cuenca¹².

La población de la cuenca del río Bao está caracterizada por una *profunda y arraigada pobreza* manifestada por su bajo ingreso y altas tasas de desempleo y subempleo, las altas tasas de emigración (hacia Santiago, Santo Domingo y Nueva York) y el alto nivel de dependencia de las remesas enviadas por los familiares que trabajan fuera de cuenca.

CUADRO 1.3 - POBLACIÓN MUNICIPIOS JÁNICO Y SAN JOSÉ DE LAS MATAS

PROVINCIA Y MUNICIPIOS INVOLUCRADOS	TOTAL	VARONES	MUJERES	ÍNDICE DE MASCULINIDAD
Total Provincia Santiago	533,102	264,511	268,591	98
Jánico	31,481	16,205	15,276	106
Urbana	1,418	682	735	93
Rural	30,063	15,523	14,540	107
Las Matas	52,427	27,201	25,226	108
Urbana	4,594	2,212	2,382	93
Rural	47,833	24,989	22,244	109

Fuente: KOKUSAI-DESAGRO, con datos del Censo Nacional Población y Vivienda 1989.

¹² CID-J&M/32.

2. CLIMA

ÍNDICE

<i>Introducción</i>	20
<i>Caracterización climática y balance hídrico</i>	21
<i>Ciclones</i>	24
<i>Red de estaciones meteorológicas de la cuenca del río Bao</i>	26
<i>Caudales y estaciones hidrométricas</i>	30
<i>Proyecto para automatizar la red hidrometeorológica de la Cuenca del Yaque del Norte y del Bao</i>	33
<i>Apéndices</i>	
<i>Ap. 2.1 Los Huracanes David, Federico (1979) y Rep. Dominicana.</i>	37
<i>Ap. 2.2 Red Pluviométrica del INDRHI</i>	43
<i>Ap. 2.3 Red Hidrométrica de la RD</i>	61

INTRODUCCIÓN

La cuenca de Bao tiene un clima subtropical, en general, dada su latitud geográfica, estando dentro de la zona de mayor insolación de la tierra.

Las condiciones meteorológicas varían mucho, debido a la gran diferencia en la altura, que oscila entre 200 y 3,000m en la cuenca. Si bien la vegetación de la zona comprueba que toda el área pertenece al clima subtropical, en general.

Temperatura

Su temperatura **promedio anual** se estima en unos 26° C, con una variación no mayor de 5° entre el mes más caluroso y el más frío. Promedio que varía con la altura.

Las **temperaturas más bajas** son de diciembre a febrero, sobre todo en la parte más alta de la cuenca. Y la temperatura *mínima de 8° C bajo cero*, se detectó en el Valle de Bao y Macutico¹.

Lluvia

La **lluvia anual** es *moderada*, con promedio de unos **1,650mm**. Oscila entre los 900 y 1,900mm, y varía cada año y en cada zona.

Las *lluvias mayores* se dan un poco por encima de la altura media de la cuenca, y las menores en la parte más baja de la cuenca. La precipitación mínima mensual es de unos 70mm, excepto en unos pocos lugares.

Y hay *dos gradientes de precipitación*. El mayor se registra al S-SE de la cuenca, en la ladera norte de la Cordillera. Y el otro, más suave, en la parte central de la cuenca.

Las precipitaciones *mayores* se dan en el nacimiento de los Ríos Donajá y Jagua. Y las *menores* al norte de la cuenca, en las confluencias de los ríos Jánico, Jagua, Baiguaque y Guanajuma.

CUADRO 2.1 - LLUVIAS ANUALES Y DIARIAS (PROMEDIOS)

ESTACIONES	ELEVACIÓN m	PROMEDIO LLUVIA ANUAL (mm)	MÁXIMA LLUVIA ANUAL (mm)	MÁXIMA LLUVIA DIARIA (mm)	PERIODO REGISTROS AÑOS
Mata Grande	1,000	1,699	2,440 (1981)	142 (1981)	1960-1994 (35)*
Janey	760	1,924	3,303 (1987)	112 (1983)	1981-1993 (13)*
Cagueyes	630	1,252	1,564 (1988)	104 (1989)	1983-1994 (12)*
Pinaüto	320	1,144	1,572 (1969)	94 (1968)	1967-1970 (4)
Bao	280	1,210	1,568 (1969)	84 (1969)	1965-1970 (6)
Guanajuma	274	1,258	1,517 (1969)	91 (1968)	1967-1970 (4)
Sabana Iglesia	229	961	1,260 (1987)	81 (1983)	1967-1970 (4)

Fuente: INDRHI (1995).

Son **lluvias orográficas**, producidas por nubes de tipo cúmulo y cúmulos nimbos (nubes chubasqueras), principalmente. Producen *lluvias intensas, de corta duración y gran potencia erosiva*, sobre todo al encontrar el suelo desnudo, aumentando el arrastre de las partículas hacia las zonas más bajas y de ellas a los cauces de ríos y arroyos².

La cuenca está sujeta a la *gran variación diaria del clima*, dada su ubicación dentro de la zona montañosa. Y, según la inclinación y dirección del flujo del viento, ocurren *fuertes lluvias*

1 KD-ANI/ 60

2 El aguacero local provoca la pérdida de tierra en gran cantidad. Aunque el volumen de agua en el río no se incrementa tanto como la pérdida de tierra. El volumen de tierra que cae inmediatamente en los ríos es poco, porque es poco el incremento del volumen de las corrientes de los ríos. Pero la tierra que no llega a los ríos queda a medio camino entre el sitio donde fue erosionada, y los ríos y arroyos. KD-IF/ 26

torrenciales originadas localmente (microclimas), que es una de las causas principales de la erosión de la cuenca.

La lluvia no cae simultáneamente en toda la cuenca, sino que lo suele hacer como *aguaceros concentrados localmente*, en un radio de 5km. Ordinariamente caen entre las tres de la tarde y antes del amanecer, durando unas tres horas.

Cuatro épocas diferentes definen el régimen pluviométrico anual de la cuenca: *dos períodos de lluvia* abundante (abril-mayo y septiembre-octubre) y dos periodos secos: (febrero-abril y julio-agosto).

Durante los dos *períodos secos* se registra una *demandas de agua superior* a las pocas lluvias que se producen durante dichos períodos, poniendo en peligro la vegetación.

Existe un **déficit hídrico** de unos 250mm anuales en la cuenca, ya que la *ETP es mayor que la precipitación* (115% mayor: 1,900mm de ETP y 1,650mm de lluvia caída).

Lo que provoca la *pérdida de pastos y de vegetación natural* en la zona, sobre todo durante los dos períodos secos (diciembre-marzo y julio-agosto) en que la ETP es muy superior a las pocas lluvias que caen.

La sequedad de la vegetación en las pendientes de las colinas, la sequía de los pastos y de la vegetación de protección, deja el suelo desnudo, y con muchas *más probabilidades de erosionarse y alimentar arrastres* en la época de lluvias³.

Lluvias y crecidas

Se producen fuertes avenidas en los ríos en dos épocas del año. En abril-mayo se producen crecidas rápidas, con ocasión de lluvias ocasionales más intensas. Y en *octubre-diciembre*, se producen grandes caudales en los ríos, con menor variación diaria que en abril-mayo. Si bien pueden ocurrir lluvias ciclónicas mucho más grandes, en la época de huracanes (agosto-octubre, principalmente). Y más perjudiciales si el ciclón cruzara por la cuenca del Bao.

En los casos de lluvias intensas ocurren crecidas rápidamente en los ríos. Ocurren *con más frecuencia en los períodos de lluvia*, pero pueden ocurrir también en cualquier época del año. Una creciente de 1,330m³/s puede ocurrir cada diez años y, bajo estas condiciones, el nivel de agua del río Bao puede llegar hasta la cota 267⁴.

Los huracanes, tormentas tropicales y ondas, que llegan entre julio-octubre, pueden producir grandes precipitaciones, escurrimientos y crecidas, por cortos períodos de tiempo⁵.

Las otras estaciones del año son más secas, y *no provocan crecidas en los ríos*, si bien en todas ellas el promedio mensual es de diez días de lluvia por lo menos.

CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA Y BALANCE HÍDRICO

Las lluvias caídas en la cuenca del Bao no son registradas adecuadamente. De ocho estaciones existentes solo tres llevan registro en la actualidad (Cuadro 2.1), y con diversa confiabilidad. Lo que impide poder disponer de la series de datos que posibiliten el análisis y evaluación de las características climáticas de toda la cuenca, y de sus diversas zonas y altitudes, en orden a su mejor aprovechamiento

³ La humedad disponible para las plantas va a depender de la evapotranspiración potencial, que es inversamente proporcional a la altura. (Ver Fig. 2.1: Isoyetas de la cuenca).

⁴ KD-IF/8-10

⁵ HARZA-IFDC/ II

Mata Grande es la única estación termo-pluviométrica, dentro de la cuenca hidrográfica del Bao, en la zona media de la misma. Sus *registros pluviométricos son muy satisfactorios* (de 20 años), si bien los *registros de temperatura media han sido intermitentes* de 1980 a 1986 (Cuadro No. 2.2), por lo que no es posible caracterizar las zonas climatológicas de la cuenca en detalle, por *falta de antecedentes térmicos*.

Sin embargo, *puede deducirse su potencial hídrico* en base el balance hídrico de algunas estaciones fuera de la cuenca, pero cercanas a la misma (Mata Grande, San José de las Matas, Santiago, La Vega y Jarabacoa. Cuadro 2.2), cuyas áreas de influencia cubren casi la mitad de la cuenca del Bao (zona baja y parte de la zona media).

CUADRO 2.2 - ESTACIÓN MATA GRANDE (1,000m SNM) - TEMPERATURA MEDIA MENSUAL

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1980							22.9		22.4		21.5	20.0	
1981	19.7		20.2	19.9	21.4	21.9	22.1	22.5	22.8	22.5	21.2	19.8	
1982	19.7	19.6	20.4	21.4	21.1	22.4	21.9	22.5	22.5	22.2	20.3	18.2	21.0
1983	19.5	20.0	20.8	21.0	21.4	22.4	22.4	22.6	22.4		21.1	20.3	
1984	19.5	19.9	20.3	21.4	21.1	21.3	21.6	22.0	22.0	21.1	19.8		
1985	19.0		19.7			22.2	22.9	23.5		22.6	21.3	20.0	
1986	20.5	19.7	21.1	21.2	21.4		22.6	23.0	22.6	23.0			
1987						22.6							
1988										23.1			
1989													
1990									22.8				
PROM.	19.7	19.8	20.4	21.0	21.3	21.1	22.4	22.7	22.5	22.4	20.9	19.7	21.2

Fuente: INDRHI (1992).

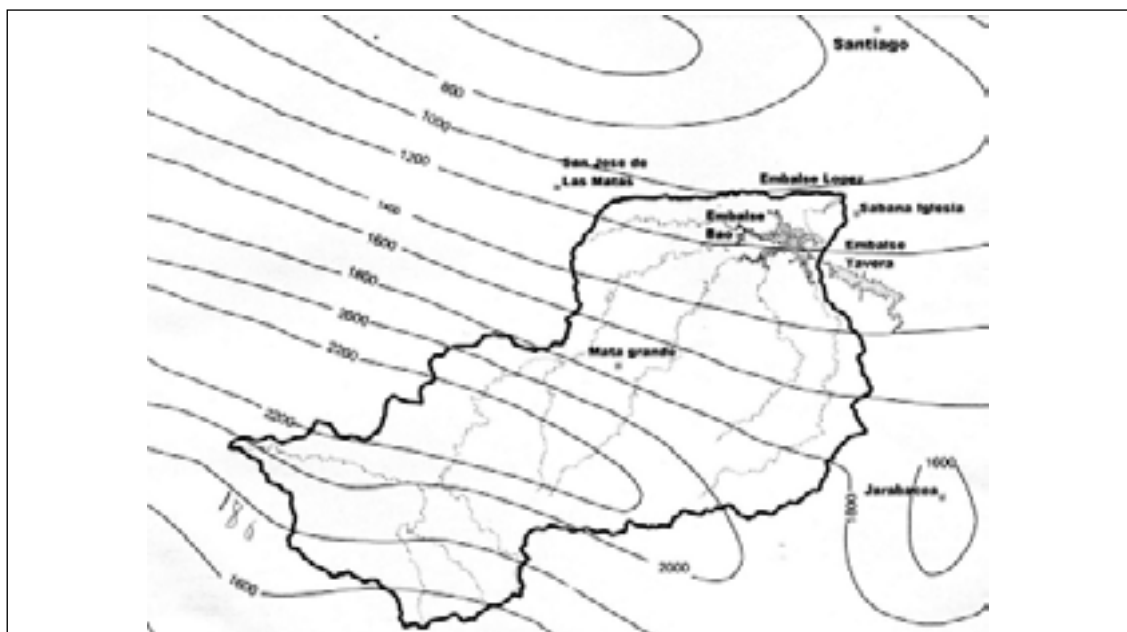


Fig. 2.1 MAPA DE ISOYETAS DE LA CUENCA DEL RÍO BAO



Hay un **déficit de agua en determinadas épocas del año**, que impide o dificulta su aprovechamiento para riego, energía eléctrica y consumo humano. Por lo que es necesario mejorar la captación y uso del recurso hídrico a lo largo del año.

Todo lo cual obliga a hacer las siguientes observaciones:

- 7 **KD-AN1/22-24**
- 8 **Se necesita un estudio y evaluación del recurso agua en la cuenca del Bao**, en todas sus dimensiones, dada la importancia económica de la misma y su interpelación con los trabajos de conservación de suelos y la producción agrícola, ganadera y forestal de la cuenca. Así como las demandas competitivas para su uso.
- Estudio que debe incluir el análisis económico de obras ya en ejecución, y las por ejecutar, destacando todas las interrelaciones entre agua, suelo y hombre en la cuenca. **KD-AN1V 123**
- 9 **KD-AN1/ 15-16 y 24-25**

CICLONES

Dominicana está en la ruta de los ciclones tropicales que pueden pasar por sus inmediaciones entre junio-noviembre. Y los más importantes suelen ocurrir en septiembre-octubre, con dirección E-O¹⁰.

Los huracanes con altas precipitaciones ocurren mayormente al sur de la Cordillera Central.

La precipitación máxima diaria registrada en la cuenca de Tavera fue en *Jarabacoa* con 233.8mm, mientras que, las precipitaciones de ese mismo temporal al sur de la Cordillera Central fueron de 507.8, 452.6, 420.0 y 332.7mm¹¹.

La magnitud de la *precipitación del modelo de huracán para la cuenca del proyecto Tavera-Bao* 711.28mm, es mucho mayor que cualquier precipitación de temporal que se haya observado.

Su frecuencia e intensidad varían mucho cada año y en cada zona¹². Así, el *ciclón David* (31 agosto 1979), que afectó fuertemente al embalse de Tavera, y apenas tocó al de Bao. La lluvia caída en la cuenca de Tavera se estimó en unos 180mm diarios promedio, pudiendo llegar a 500mm/día, en algunos puntos¹³.

Los ciclones extraordinarios, que suceden cada 40-50 años, pueden provocar *caudales de unos 7,800m³/s en el Río Bao*, con sus afluentes, en el momento pico¹⁴.

Sobre el área de la cuenca Tavera-Bao han pasado unos trece ciclones dentro del período estudiado, de 71 años. Y su intensidad es algo aminorada por la fricción topográfica¹⁵.

El *huracán David* (1979), que castigó fuertemente al país, (Fig. III-1), cruzó la isla con dirección sur a norte, y pasó por encima de la parte superior de la cuenca del Bao el 31 de agosto de 1979. Si bien produjo muchos más daños en la cuenca de Tavera (Yaque Norte) que en la de Bao.

La construcción de la Presa de Bao se había empezado un mes antes, y todos los trabajos realizados en la fundación de la presa, los rellenos y las excavaciones, quedaron deshechos completamente. Debido a los daños y pérdidas en equipos y materiales, y a la dificultad de su reposición, apenas se trabajó en la presa hasta cinco semanas después del huracán. Y si no hubo más daños fue porque la obra estaba empezándose. La central hidroeléctrica de Tavera, a unos 5km, estuvo sin operar hasta casi un año después¹⁶. Ver Apéndice 1.

Existe un 15.2% de probabilidad de que pase un ciclón sobre la zona de Tavera-Bao, y 1.3% de que pasen dos en una temporada. Y un 83% de probabilidad de que no pase ninguno.

10 **Los ciclones tropicales** son un fenómeno meteorológico complejo de origen no bien conocido, aunque se sabe que el calor y la humedad predominantes en las calmas ecuatoriales son los factores determinantes en su formación. Su remolino puede alcanzar más de 300km de diámetro, afectando un diámetro de más de 800km. Desarrolla fuertes vientos (hasta de 240km/h), lluvias torrenciales (incluso de 750mm/día) y fuerte oleaje (hasta de 5m de altura), afectando un frente de 450km, todo lo cual se combina para producir efectos destructores. Sus vientos giran en dirección contraria a las manecillas del reloj.

Sus componentes básicos son la presión, el viento, la precipitación y la temperatura, que están inter-relacionados. De ellos se ha tomado el viento *para determinar su estado evolutivo*, dependiendo su velocidad de los gradientes de presión. Las *máximas precipitaciones* se dan a la derecha de su trayectoria donde también se dan los vientos máximos. La temperatura está asociada a la precipitación, dependiendo del calor latente.

Es conveniente establecer que *ciclón tropical* será considerado todo disturbio de origen tropical con vientos iguales o mayores de 34 nudos. Se incluyen en este estudio aquellos ciclones que pasan a menos de 100mn de nuestras costas, ya que sus efectos pueden experimentarse en la isla. **CDE111-3/ 41-42, 45.**

11 **CDE 11-2/ 20-21.**

12 **Varían mucho cada año y en cada zona.** Afectan cada dos años a RD, como promedio, con efectos variados. Hubo años con dos huracanes, como en 1963 y 1966 y períodos de descanso de 5-10 años, como en 1949-54 y 1932-43. La costa sur es la región más afectada, recibiendo el 67% de los ciclones que tocan a la RD, dada su situación en la trayectoria de los ciclones que más afectan a RD (los formados al este de los 70° Oeste, y bajo los 20° N).

13 Con los ciclones la precipitación siempre puede ser de más de 508mm. Pero las mayores precipitaciones descargan cuando el ciclón lleva la velocidad mínima de traslación de 7.31km/hora, que es la más crítica. Los huracanes lentos pueden alcanzar entre 800-1.000mm, y en condiciones meteorológicas especiales pueden pasar de los 1.000mm. **CDE 111-3/ 46.**

14 **KD-IF/J5 y KD-AN7s.**

15 **CDE 111-3/47.**

16 **HARZA-IFDC/III-3,6).**

Un ciclón tropical cruza anualmente, como promedio, por el área de 25° cuadrados que bordea a la Rep. Dominicana. Lo que no quiere decir que cruce por la RD, pero si que pasa por su proximidad. De ahí que se dé seguimiento a los ciclones que pasan a menos de 100mn de nuestras costas, ya que sus efectos pueden experimentarse en la isla¹⁷.

La probabilidad de la ocurrencia de un ciclón en el área Tavera-Bao es mínima. Pero como la posibilidad no puede ser descartada conviene tomar todas las medias posibles, dada la magnitud de los daños que puede causar.

Se estima que en **la cuenca del Bao los caudales serían de unos 915m³/s**, en las crecidas de 10,000 años. Y en Sabana Iglesia serían de unos 1,800m³/s, a la luz de las crecidas registradas en los últimos años.

El pico total de las crecidas en Tavera-Bao, por huracán, se estima en 15,037m³/s, a las 26 horas del comienzo del hidrógrafo, usando datos de las estaciones de aguas arriba de Tavera y Sabana Iglesia. Crecida resultante de los picos de Tavera y Sabana Iglesia estimados en 7,223 y 7,814 m³/s, respectivamente¹⁸.

Y en las tormentas de huracán *el 55% de las precipitaciones corresponde a temporales de 10,000 años*, según los datos disponibles.

La información de la llegada de un ciclón se da unas 48 horas antes de que toque territorio dominicano. Y el aviso de su cercanía se da cuando el ciclón se acerca el meridiano 65°W, para que se tomen las precauciones de emergencia¹⁹.

Período de gran importancia para el manejo del embalse de Tavera-Bao ante las crecidas que pueda provocar el ciclón, así como para tomar otras medidas de precaución en general.

Los ciclones en la actualidad **son fácilmente detectados y seguidos** en nuestra área por los satélites meteorológicos y las redes de radar, con la colaboración internacional y los medios de comunicación, lo que es una gran ayuda. Aunque todavía no pueda hacerse nada para evitarlos o disminuir sus daños directamente²⁰.

17 CDE m-3/ 41-42.

18 CDEU-2/ 22-23.

19 **Pronósticos para avisos de crecidas.** El SMN contemplaba en 1972 como uno de sus objetivos básicos la creación de una unidad con este fin. CDE III-3/ 49f.

20 **Son fácilmente detectados y seguidos.** Existen métodos de observación, análisis y predicción de ciclones tropicales y huracanes que permiten conocer su posición, movimiento, intensidad y datos conexos, en todo momento, a fin de tomar las precauciones oportunas.

En el área del Caribe y el O. Atlántico se mantiene una estrecha colaboración internacional para el rastreo y observación de los ciclones tropicales que surgen en el área, contando con una *red de radares* que van desde las Islas Barbados hasta Cuba y desde Miami hacia el Golfo de México y Texas. Por otra parte hay una flotilla de aviones *caza-huracanes* y sus informaciones son enviadas a todos los centros meteorológicos del área por teletipo.

Otras fuentes de información son las *fotografías desde satélites meteorológicos*, tomadas al instante de formarse los ciclones, y cuyo análisis es intercambiado en el área. Y los *mensajes de intercambio internacional*, cada seis horas, con la descripción de la tormenta, su posición y predicción de su movimiento. CDE III-3/10-11.

**TORMENTAS TROPICALES Y HURACANES
QUE HAN CRUZADO SOBRE LA ZONA DE "TAVERA-BAO"
O PRÓXIMO ESTADO EVOLUTIVO**

FECHA	TORMENTA	TORMENTA TROPICAL	HURACÁN	DIRECCIÓN / MOVIMIENTO
10 Oct. 1887			X	O
1 Sep. 1896			X	ONO
9 Ago. 1899			X	ONO
12 Sep. 1918		X		NO
11 Sep. 1921			X	N
24 Jul. 1926			X	NO
14 Sep. 1928			X	NO
7 May. 1932		X		NE
28 May. 1934	X			S
9 Ago. 1938	X			ONO
23 Ago. 1950 (Baker)	X			ONO
23 Sep. 1952 (Charlie)		X		NO
3 Oct. 1961 (Frances)		X		NO
27 Sep. 1963 (Edith)			X	NO

En esta relación se han considerado todas las tormentas que han tocado el área comprendida entre 18° 30' - 20°N y 70° - 71° W (básica/geográficamente la del proyecto de Tavera-Bao: 18° 48' - 19°18'N y 70°18' - 70°48'W).

El periodo seleccionado fue de 100 años (1871-1971)²¹.

RED DE ESTACIONES METEREOLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RÍO BAO

Red de estaciones meteorológicas

Los registros de la zona de Bao son escasos. Hay *bastantes* estaciones meteorológicas, pero en mal estado y *sin registro continuo de datos*.

La red original estaba formada por once estaciones, con *diversidad de equipos e instrumental*, desde el más simple hasta equipos completos. De ellas solo:

Cinco tenían *pluviógrafos*

Una era climática (Mata Grande)

Se mantienen seis en operación, manteniendo registros en la actualidad: *Janey* y *Mata Grande* en la parte media de la cuenca y *Cagueyes* en la parte baja.

Son las únicas fuentes de *lluvias horarias*, indispensables para determinar las intensidades máximas de precipitación por períodos específicos de tiempo, requeridos para el cálculo del factor R. Así como para determinar un posible cambio en el patrón o tendencia meteorológica, a distintas altitudes, a través de la cuenca.

Y en la cuenca *no existen estaciones climáticas ni hidrométricas con serie de datos confiables*²².

²¹ CDE III-3/34.

²² KD-AN7s/ 69

CUADRO 2.2
PERÍODO DE ESTACIONES CLIMÁTICAS, PLUVIOGRÁFICAS
Y PLUVIOMÉTRICAS EN LA CUENCA DEL RÍO BAO

ESTACIONES CLIMÁTICAS	PERÍODO
Mata Grande	1980-1994
ESTACIONES PLUVIOGRÁFICAS	
Cagueyes	1979-1987*
Janey	1979-1994
Donajá	1979-1994
Loma de los Ríos	1979-1985*
ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS	
Guanajuma	1967-1970*
Pinalito	1967-1970*
Bao	1965-1970*
Sabana Iglesia	1967-1970*
Juncalito	1982-1994*
Los Montazos	1982-1994*
Presa Bao	1984-1986*

Fuente: INDRHI (1995)

* Suspendidas

Historial de la red

El historial **de las cinco estaciones que disponían de pluviógrafos** es el siguiente:

1) Mata Grande (1,000m s/nm). Ubicada en la *parte media de la cuenca*, en la misma sub-cuenca del Bao. Posee registros desde 1960, con promedio anual de *lluvia de 1,610mm*.

Tiene 32 años de registros desde su instalación, si bien tiene interrupciones periódicas durante 19 años. Los mayores y más frecuentes se dan en los últimos diez años, y a partir de 1981 faltan datos en ocho de los once años últimos de operación, con interrupciones de dos a ocho meses.

Posee pluviómetro pero no parece haber una relación complementaria entre los registros pluviográficos y los reportes pluviométricos. Hay diferencias significativas entre unos y otros lo que da lugar a dudas respecto a la veracidad de los datos.

CUADRO 2.4
PRECIPITACIONES: PROMEDIOS ANUALES / MÁXIMA ANUAL Y MÁXIMA DIARIA
(KD-AN7s/10-12 y 28) NI... SI (13) (KD-AN7s/17)

ESTACIONES (Códigos)	PROMEDIO PRECIPITACIONES ANUALES (mm/año)	MÁXIMA PRECIPITACIÓN ANUAL (mm/año)	MÁXIMA PRECIPITACIÓN DIARIA (mm/año)
Matagrande (411)	1,766	2,440 (1981)	142 (1981)
Guanajuma (415)	1,356	1,517 (1969)	91 (1968)
Pinalito (416)	1,257	1,572 (1969)	94 (1968)
Bao (417)	1,206	1,568 (1969)	84 (1969)
Sabana Iglesia (418)	1,008	1,260 (1987)	81 (1983)
Janey (438)	1,960	3,303 (1987)	112 (1983)
Cagueyes (420)	1,432	1,564 (1988)	104 (1989)

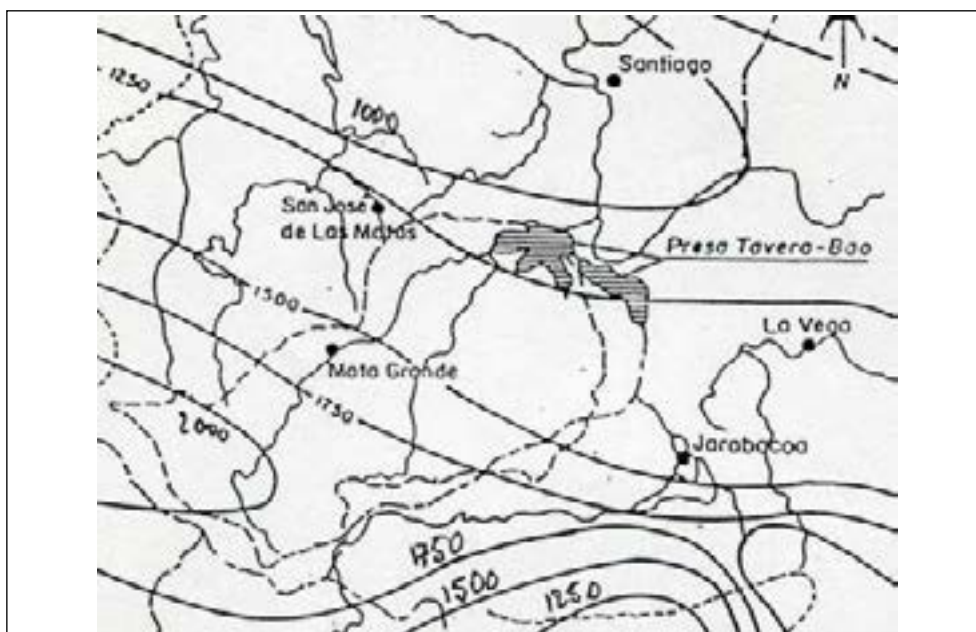


Fig. 2.3 ESTACIONES TERMO-PLUVIOMÉTRICAS MÁS CERCANAS A LA CUENCA DEL RÍO BAO

El resto de las estaciones se instaló hace unos 3-9 años y la mayoría están situadas a lo largo del río, a distancias de 15km entre estaciones. Tres de las siete estaciones sólo tienen registros completos de dos años y ninguna de ellas posee series de datos estadísticamente representativos. Por lo que hay que recurrir a datos de estaciones próximas a la cuenca (Santiago, San José de las Matas, La Vega y Jarabacoa), siendo la validez de su aporte muy limitado²³.

CUADRO 2.5
PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL DE ESTACIONES
MÁS CERCANAS A LA CUENCA DEL RÍO BAO

NO.	ESTACIÓN	RÍO	PERIODO DE OBSERVACIÓN	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)
1	Monte Cristi	Yaque del Norte	Enero 1933 a Diciembre 1955	639.8
2	Villa Isabel	Yaque del Norte	Enero 1939 a Diciembre 1955	706.8
3	Santiago	Yaque del Norte	Enero 1931 a Diciembre 1955	964.2
4	Jarabacoa	Yaque del Norte	Enero 1935 a Diciembre 1955	1,484.1
5	Salto de Jimenoa	Jimenoa	Enero 1949 a Diciembre 1955	2,091.2
6	Santiago Rodriguez	Guayubín	Marzo 1938 a Diciembre 1955	1,297.5
7	Valverde	Mao	Enero 1961 a Diciembre 1955	860.5
8	Monción	Mao	Enero 1961 a Diciembre 1955	1,299.6
9	S. José de las Matas	Amina	Enero 1932 a Diciembre 1955	1,234.5

2) Loma de Los Ríos (1,830m s/nm). Ubicada en la parte alta de la cuenca, y en la sub-cuenca Bao, fue instalada en 1979, y ya en ese año sufrió una interrupción de un mes. En otros años sufrió interrupciones entre cinco meses y un año, y en 1985 fue suspendida definitivamente.

Es decir, sólo se dispone de cuatro años de datos completos, sin tener instrumentos para confirmar su confiabilidad.

²³ KD-AN7S/ 13.

3) Cagueyes (63m s/nm). Ubicada en la zona baja de la cuenca, en la sub-cuenca del río Jagua. Fue instalada en 1979, y se mantiene operando, pero con interrupciones frecuentes y prolongadas, a tal nivel que sólo hay tres años de datos completos (1984, 1988 y 1990).

No están procesados los datos desde 1985 y a los otros años registrados le faltan datos que oscilan de 1-6 meses. Esta estación posee pluviómetro pero su información comparada con el pluviógrafo, en la parte procesada, es menor.

4) Donajá (615m s/nm). Ubicada en la parte media de la cuenca, y alta de la sub-cuenca del río Jagua. Fue instalada en 1979 y suspendida en 1989. También presenta interrupciones constantes durante todo el período de operaciones, por lo que solo se dispone de dos años completos de datos (1984 y 1987). Y no tiene pluviómetro para fines comparativos.

5) Janey (760m s/nm). Ubicada en la cuenca media del Bao y en la parte alta de la sub-cuenca el río Guanajuma. Instalada en 1978, se considera como operando a la fecha, pero sus datos solo han sido procesados hasta 1987, presentando numerosas interrupciones, de tal magnitud que en trece años de operación, sólo son consistentes tres años (1984, 1986 y 1991). Pues en todos los demás años aparecen interrupciones que varían 1-7 meses²⁴.

Posee pluviómetro, pero carece de información para algunos meses de 1981, 1986, 1988-90. Y los datos existentes del pluviómetro no son muy concordantes con los del pluviógrafo.

Uso de estaciones meteorológicas de fuera de la cuenca de Bao

Los investigadores del plan de manejo de la cuenca del Bao, dado que las estaciones ubicadas dentro de la cuenca de Bao no poseían registros adecuados, revisaron las informaciones de las estaciones próximas a la cuenca en búsqueda de datos comparativos de ajuste a la limitada serie de las estaciones dentro de la cuenca.

Por esta causa se seleccionaron las estaciones de Santiago, San José de las Matas, La Vega y Jarabacoa. Y se utilizaron sus datos, juntamente con los de Mata Grande, para calcular el balance hídrico de la cuenca, basado en la precipitación media que recibe el área.

En vista de las diferencias registradas en las estaciones adyacentes a la cuenca, se decidió seleccionar a la estación de Mata Grande como base para el estudio, por encontrarse, dentro de la cuenca y poseer una buena serie de datos, que fueron utilizados para hacer correlaciones con las demás estaciones que se encuentran dentro de la cuenca. De las estaciones seleccionadas sólo Mata Grande, la única que se ubica dentro de la cuenca, posee un balance hídrico positivo durante los doce meses del año.

Su máxima precipitación diaria es de unos 60mm por lo menos, excepto algunos casos. Se observan muchas variaciones en la media anual, que oscila entre 1,000 y 2,000mm, a pesar de que el área en cuestión es de 30km². Y la máxima precipitación anual también presenta muchas variaciones, con diferencias que oscilan de 1,260 a 3,300mm²⁵.

Rehabilitación y equipamiento de las estaciones meteorológicas

Diversos estudios insisten desde hace años en la necesidad de rehabilitar y equipar la red meteorológica de la cuenca del río Bao, para conseguir registros y series de datos que posibiliten el análisis y evaluación de las características climáticas de toda la cuenca y sus distintas secciones y ayuden a un mejor manejo del recurso hídrico.

Para obtener el tipo y calidad de informaciones meteorológicas requeridas para distintos fines se recomendó:

²⁴ KD-AN2b/ 12.

²⁵ KD-AN7s/ 18.

Mantener cinco estaciones de la red original (Mata Grande, Cagueyes, Janey, Loma de los Ríos y Donajá), por su adecuada distribución y ubicación, para proporcionar la cobertura geográfica apropiada para captar las observaciones necesarias para cualquier tipo de estudio climático.

Estaciones que se deben rehabilitar y equipar:

- Tres deberán ser climáticas completas (Mata Grande, Cagueyes y Janey) y
- Dos de menor equipamiento (Loma de los Ríos y Donajá)
- y deberán estar a cargo de observadores meteorológicos graduados las estaciones de Mata Grande, Cagueyes y Janey. Y dos de estos tres observadores deberán “supervisar las observaciones registradas en las otras estaciones”, Loma de los Ríos y Donajá, semanalmente.

CUADRO 2.6
ESTACIONES METEOROLÓGICAS INSTALADAS EN LA CUENCA DEL RÍO BAO
INSTRUMENTOS EXISTENTES

ESTACIÓN	COORDENADAS		INSTRUMENTOS			FECHA INICIO
	LATITUD	LONGITUD	PLUVM.	PLUVG.	CLIM.	
Cuenca Yaque del Norte						
El Río	18° 58' 50"	70° 37' 40"	Lemb.	Bendix		Jun /60
Manabao	19° 00' 20"	70° 48' 40"	Lemb.	Bendix		Ago/60
Jarabacoa	19° 07' 50"	70° 38' 00"	Lemb.	Lemb.	Compl.	Jun/67
Tavera	19° 07' 40"	70° 42' 50"	Lemb.	Weath.	Compl.	Sep/66
Cuenca del Bao						
Mata Grande	19° 13' 40"	70° 58' 50"	Lemb.	Bendix		Jun/60
San José de Las Matas	19° 20' 10"	70° 56' 52"	Lemb.	Lemb.	Compl.	Sep/67
Santiago	19° 27' 50"	70° 41' 50"	Lemb.	Weath.	Compl.	Sep/67

CAUDALES Y ESTACIONES HIDROMÉTRICAS

Caudales

Los **caudales del río Bao**, medidos en tres estaciones, pueden verse en el Cuadro 2.7.

Las crecidas que se producen en los ríos de la cuenca del Bao son provocadas por las corrientes tropicales, los huracanes y el paso de frente fríos a través de la cuenca. Y suelen ocurrir en los períodos de mayo-junio y septiembre-diciembre.

La crecida causada por el huracán David (1979), el caudal de los río Bao y Jagua en Sabana Iglesia alcanzó los 2,000m³/s²⁶.

Estaciones hidrométricas

Los caudales del **río Bao** fueron registrados para los sectores alto, medio y bajo de la cuenca en las estaciones hidrométricas de Sabaneta, Agua Caliente y Sabana Iglesia, respectivamente.

El río Bao actualmente solo se está aforando aguas arriba de la presa, en la parte media y alta. La estación de Sabana Iglesia fue trasladada a la de Agua Caliente cuando se construyó la presa de Bao. Sus registros se mantuvieron sólo con el propósito de construcción de la presa y luego se descontinuaron.

26 Marcelo Jorge Pérez, 199, cf., KD-AN1/ 21.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

CUADRO 2.7
CAUDAL DEL RÍO BAO
PROMEDIO MENSUAL EN CUATRO ESTACIONES (EN M³/S)

	SABANETA (1980-1988)	BAO (1955-1979)	AGUA CALIENTE (1979-1987)	SABANA IGLESIA (1967-1979)
Enero	5.1	6.9	5.4	12.4
Febrero	4.8	5.8	4.9	12.5
Marzo	4.3	6.4	4.7	13.3
Abril	5.0	7.8	8.1	14.4
Mayo	10.9	13.4	18.4	25.0
Junio	11.0	16.8	17.1	27.0
Julio	7.4	9.6	9.3	16.4
Agosto	6.4	8.2	8.3	13.8
Septiembre	8.4	11.9	11.0	20.1
Octubre	10.5	14.7	14.9	24.7
Noviembre	8.7	12.5	11.6	24.1
Diciembre	5.9	10.6	6.8	23.3
Promedio	7.4	10.4	10.0	18.9

Fuente: INDRHI (1995)

CUADRO 2.8
ESTACIONES DE AFORO PARA EL RÍO BAO
PERÍODOS DE REGISTRO

ESTACIÓN	ELEVACIÓN	PERÍODO DE REGISTRO (AÑOS)
Sabaneta	770m	1980-1988 (9)
Agua Caliente	542m	1979-1987 (9)
Sabana Iglesia*	230m	1967-1979 (13)
Bao	308m	1955-1979 (25)

* Descontinuada

Fuente: INDRHI (1995)

La red hidrométrica de la cuenca del Bao, del río Bao y sus afluentes, estuvo compuesta

- *Originalmente* por trece estaciones
De ellas: seis eran de 1ª clase, una de 2ª, una de 3ª y cuatro de 4ª.
- *Actualmente* ocho están en operación, teniendo buena localización y cinco fueron suspendidas en diferentes años.

Y se recomendó:

- *Complementar la red con tres estaciones adicionales de aforo de 1ª clase.* Una en la parte media del río Jagua, otra en el Baiguaque y una tercera en la intersección

del Bao y el río Jánico, ya que en esa parte se concentrará el plan de manejo y conservación de la cuenca²⁷.

- Hacer un *replanteo de las secciones transversales de los ríos* en cada uno de los puntos de medidas.
- *Instalar lisímetro* en Guanajuma, Agua Caliente y el Higüero.
- *y hacer mediciones diarias en todas ellas*, manteniendo la consistencia en la obtención de datos.
- Y en otra etapa, considerando la deficiencia de los aforos de los ríos tributarios al embalse de Bao, *completar la red de aforos para las zonas altas, media y baja de todos los tributarios*²⁸.

CUADRO 2.9
ESTACIONES HIDROMÉTRICAS DE LA CUENCA DEL RÍO BAO

ESTACIÓN	AÑO	CLASE
Bao - Bao	1955 - 1979*	1 ^a
Bao - Sabana Iglesia	1967 - 1979*	1 ^a
Bao - Agua Caliente	1979 - 1987*	1 ^a
Bao - Sabaneta	1980 - 1994	4 ^a
Jagua - Pinalito	1955 - 1979*	1 ^a
Jagua - El Higüero	1979 - 1994	1 ^a
Guanajuma - Guanajuma	1967 - 1979*	1 ^a
Guanajuma - El Cerrazo	1979 - 1994	1 ^a
Guanajuma - Bejucaí	1981 - 1994	4 ^a
Baiguaque - Los Pilones	1989 - 1994	3 ^a
Jánico - La Fortaleza	1982 - 1994	4 ^a
Antonsape Bueno - Mata Grande	1981 - 1994	4 ^a
Jamamú - Jamamú	1981 - 1994	4 ^a

* Suspendidas

Fuente: INDRHI (1995)

Búsqueda de datos hidrométricos de fuera de la cuenca de Bao

Los investigadores del plan de manejo de la cuenca de Bao, tenían la esperanza de que hubiera una estación hidrométrica en Jánico, para obtener datos de caudales lo más exactos posibles.

No había estación hidrométrica en Jánico, pero sí había *diez lugares con medidores de precipitación fuera de la cuenca*²⁹.

Y de esos diez, *utilizaron los datos de Santiago y de la presa de Bao*, los más próximos a la cuenca de Bao, con los cuales realizaron los análisis para comprender la tendencia general de las condiciones hidrológicas de los principales ríos de la zona. Y, en especial, la evolución de las corrientes del río Bao.

27 La estación clase 1^a cuenta con el siguiente equipo: Limnímetro, Limnígrafo y teleférico. La de 2^a clase, con Limnímetro, Limnígrafo, y se afora desde un puente. La de 3^a clase posee Limnímetro y Limnígrafo, y se afora mediante vadeo. Y la de 4^a clase posee Limnímetro y se afora por vadeo.

El costo de rehabilitación de estaciones meteorológicas e hidrométricas puede verse en el Anexo 2b, Cuadro 8, pg. A24.

KD-AN1/21.

28 **KD-AN1/28.**

29 Posteriormente, **se instaló una estación hidrométrica sobre el río Jánico, en el sitio de la Fortaleza.**

Había instalados tres medidores del nivel de las corrientes, pero hubo dificultad para utilizarlos para los análisis debido a la falta de los registros de inundaciones. Y hubo que hacer cálculo computarizado en base a los datos del cambio del nivel de la presa de Bao.

*El análisis fue considerado satisfactorio, a nivel del estudio de factibilidad. Pero urgió la necesidad de obtener datos, por medición real de las inundaciones, para la elaboración del plan de ejecución*³⁰.

PROYECTO PARA AUTOMATIZAR LA RED HIDROMETEOROLÓGICA DE LA CUENCA DEL YAQUE DEL NORTE Y DEL BAO (1972)³¹

Justificación

Una buena red de hidrometeorología y su telecomunicación, **no es un gasto sino una inversión.**

Es clave en la temporada de huracanes, ayudando a prever las crecidas y tomar las medidas para amortiguar los efectos de las crecidas y evitar sus daños. En caso de *crecida*, puede necesitarse vaciar el embalse hasta cierto nivel, evitando peligros para la estructura de la presa y para las tierras aguas abajo de la misma. De ahí la importancia de las informaciones y avisos de crecidas, en la cuenca misma, en tiempo real³².

Y la RD se encuentra en un área que es frecuentemente azotada por ciclones tropicales. Y una presa como la de Bao, conectada con la de Tavera obliga a pensar sobre el posible comportamiento de los caudales originados por los ciclones tropicales, máxime si pasaran por el área del Proyecto Tavera-Bao. Todo lo cual obliga a ser previsores³³.

En tiempo normal la previsión de los caudales *permite un mejor uso del agua de los embalses, para electricidad y riego.* Hay volúmenes de agua que sin la previsión facilitada por las redes hidrometeorológicas y su sistema de telecomunicación, se desbordaran sobre los vertederos sin ningún aprovechamiento útil. En el estudio económico de la presa de Bao, se estimó *que se podría aumentar en un 8% la producción de energía eléctrica (pasando de 305 a 332Gwh)*, si se utilizan los volúmenes evacuados por los vertederos.

Un embalse puede funcionar *con la mayor eficacia sólo si puede prever el ritmo temporal y la magnitud de la entrada del agua en el embalse.*

De ahí que el mejoramiento de la red hidrometeorológica de las cuencas de Tavera-Bao, y su telecomunicación, sea una inversión muy útil para la rentabilidad de sus embalses y sus múltiples servicios (producción eléctrica, agricultura, agua potable, y regulación de las crecidas). Los gastos que implica pueden parecer costosos, pero *ningún plan de previsión, puede hacerse sin sus informaciones.* Informaciones que permiten multiplicar la rentabilidad de varios servicios nacionales³⁴.

Para obtener el mejor uso del agua en el embalse de Tavera-Bao, se requiere un conocimiento, lo más preciso posible, de los procesos involucrados en la transformación de las lluvias en caudales (hidrometeorología), en las cuencas aguas arriba de los embalses.

- 1) *Cuanto mejores y más extensas sean las observaciones hidrometeorológicas, más precisos* serán los estudios estadísticos de previsión de crecidas, caudales medios y duración de los estiajes. Observaciones que son básicas para un programa provisional de producción óptima de energía eléctrica y riego.

30 KD-AN7s/ 7.

31 **Proyecto para Automatizar** es el subtítulo del “Estudio sobre la Rehabilitación y Ampliación de la Red Hidrometeorológica e instalación de una Red de Teletransmisión para el Control de las Crecidas y la Operación del Embalse Tavera-Bao, en las cuencas de los ríos Yaque del Norte y Bao”. Fue realizado por Henri Sellies, experto la ONU y asesor de la División de Hidrología del INDRHI, en diciembre de 1972, a petición de la CDE para su “Estudio de Factibilidad Tavera-Bao”.

32 **Riesgos de las crecidas.** Y, así, procurar que las crecidas aguas abajo de los embalses, no sobrepasen 1,750m³/s, caudal máximo que podría aguantar el cauce del Yaque Norte en el malecón de Santiago. Si este caudal fuera mayor ocasionaría inundaciones con pérdida de vidas humanas y otros daños graves. **CDE III-6/ 2.**

33 **CDE III-3/ 12.**

34 **CDE III-6/ 3.**

2) Una mejor previsión de los caudales aportados por las cuencas puede *mejorar un 8% la producción de la planta hidroeléctrica Tavera-Bao*, pasando de 305Gwh a 332Gwh, al turbinar los volúmenes de agua que estaban pasando por el vertedero³⁵.

3) *Automatizar la red hidrometeorológica, supone la:*

- a) Captación de la información de los niveles del agua que discurre por los ríos y la que cae como precipitaciones.
- b) Recolección y transmisión inmediata de estas informaciones.
- c) Transformar los datos a informaciones de “caudales”.
- d) Elaboración de los datos básicos de caudales: ordenamiento, archivos y análisis científico.
- e) Datos clave para la elaboración de cualquier programa de previsión.

Las nuevas estaciones pluviométricas

Las nuevas estaciones pluviométricas deberán estar equipadas de:

- 1) *Pluviógrafos*, que aseguren el conocimiento de la distribución, intensidad y velocidad de traslación de las precipitaciones, pudiendo ser diarios o semanales y de.
- 2) *Pluviómetros* ordinarios que aseguran la continuidad de las observaciones, en caso de fallos del mecanismo de relojería u otros defectos.
- 3) Y se recomendó dos cadenas de *pluviómetros totalizadores* para las cuencas de Tavera y Bao, ubicados a cada 500m. de altura, que se podrían chequear mensual o trimestralmente³⁶.

Pluviógrafos, pluviómetros y correlación con los caudales

Hasta 1972 **no había correlación entre la medición de las lluvias y los caudales de la cuenca**, según los datos disponibles, oscilando la correlación entre 0.46 y 0.77. Lo que se atribuyó a la *insuficiencia de pluviómetros (1/340km²*, cuando una precipitación tropical normal no afecta a más de 200km²), y al *relieve muy acentuado de las cuencas* (ver Cuadro 2.10).

Y se recomendó emplear *pluviógrafos*, para medir la duración e intensidades de las lluvias, en la cuenca de Tavera-Bao.

CUADRO 2.10
HIPSOMÉTRICO DE LAS CUENCAS TAVERA-BAO

Altura en metros	Área en km ²							
	Río Yaque del Norte				Río Bao			
	km ²		Porcentaje		km ²		Porcentaje	
	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.
3,175-2,500	2.8	2.8	0.35	0.35	11.5	11.5	1.29	1.29
2,500-2,000	13.8	16.6	1.73	2.06	88.0	99.5	9.85	11.14
2,000-1,500	139.2	155.8	17.40	19.48	145.5	245.0	16.28	27.42
1,500-1,000	355.6	551.4	44.45	63.83	255.0	500.0	28.54	55.96
1,000-700	114.4	625.8	14.30	78.43	166.0	666.0	18.58	74.54
700-500	127.7	753.5	15.97	94.20	134.0	800.0	15.00	89.54
500-300	47.2	800.7	5.90	100.00	83.5	886.5	9.68	99.20
300-220	---	---	---	---	7.0	893.5	0.78	100.00

Fuente: CDE III-6/ 9

35 CDE III-6/ 6.

36 CDE III-6/ 12.

UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS AL CONSTRUIRSE EL PROYECTO TAVERA–BAO

En la cuenca del Bao **casi todas las estaciones estaban ubicadas para fines de estudio, y no para operación de embalse en 1972**, cuando se estaba construyendo el complejo Tavera- Bao, por lo que se recomendó su traslado³⁷:

- 1) *La estación de Guanajuma*. Aguas arriba del embalse de Bao, para controlar los volúmenes de agua que aporta este río.
- 2) *La de Pinalito*: Aguas arriba del proyectado embalse sobre el río Jagua.
- 3) *La de Bao*: Aguas arriba del embalse sobre el río Bao.
- 4) *La de Bao*, aguas abajo de la confluencia Bao-Los Negros, debía ser instalada completamente.
- 5) *Y en Baiguaque*, debía instalarse una estación hidrométrica completa³⁸.

EQUIPOS RECOMENDADOS PARA LA RED DE ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS CUENCA DEL BAO, aguas arriba del embalse de Bao (1972)

Alternativa No. 1

a. Estaciones hidrométricas:

- 1) Traslado de estaciones: Guanajuma, Jagua y Pinalito a los sitios elegidos, aguas arriba del embalse. Traslado de la estación de Bao, al sitio elegido.
- 2) Dos Estaciones Hidrométricas nuevas y completas (Los Negros y Baiguaque).
- 3) Instalación de un Limnígrafo en el Embalse de Bao.
- 4) Instalación radio (emisor-receptor) en las seis estaciones.

b. Estaciones pluviométricas:

- 1) Doce estaciones pluviométricas, con pluviógrafos y pluviómetros.
- 2) Seis estaciones de pluviómetros totalizadores.

c. Laboratorio de campaña para sedimentos en la estación de:

- 1) Bao y Jacagua, aguas arriba del embalse.

d. Diversos:

- 1) Vehículo todo-terreno.
- 2) Aparato traductor de gráfica.

Alternativa No. 2

a. Estaciones hidrométricas:

- 1) Limnígrafo digital con tele-transmisor: Guanajuma, Jagua, Bao y Los Negros.

b. Estaciones pluviométricas:

- 1) Doce Tele-pluviómetros digitales.
- 2) Seis pluviómetros totalizadores.

c. Laboratorio de campaña:

- 1) Bao y Jacagua, aguas arriba del embalse.

d. Diversos:

- 1) Dos vehículos todo-terreno.
- 2) Un aparato traductor de gráfica.

³⁷ Red hidrométrica de la cuenca del Yaque Norte, aguas arriba de Tavera. No se recomendó ningún cambio de ubicación para las estaciones del Yaque Norte, arriba de Tavera, sino *sólo* instalar un limnígrafo sobre el embalse de Tavera y mejorar las estaciones existentes.

³⁸ CDE III-6/ 13-14.

La Fig. III-2 presenta los promedios de lluvia mensual en Tavera, durante su construcción. En algunos días llovió en Tavera y no en Bao, a unos 3.5km. La Fig. III-3 muestra las temperaturas mensuales y los días de lluvia en Tavera durante la construcción del Proyecto de Bao HARZA-EF/III -2-6.

La República Dominicana, cuenta en la actualidad con 125 estaciones de medición de caudal, que constituyen la red de observación hidrométrica, siendo la más antigua instalada en 1954 y cubriendo un total de 54 cuencas hidrográficas en que se ha dividido el país, (hidexp 18).

APÉNDICE 2.1

LOS HURACANES DAVID, FEDERICO (1979) Y REP. DOMINICANA

DOS HURACANES EN UNA SEMANA

El huracán David y la tormenta tropical Federico cruzaron la Rep. Dominicana en 1979, en el lapso de una semana (desde el 31 agosto, al 1 de septiembre y desde el 5 al 6 de septiembre, respectivamente). Penetraron entre San Cristóbal y Calderas, saliendo por Manzanillo, después de pasar la Cordillera Central con elevaciones hasta de 3,000m, como el pico Duarte (3,087m). Y, durante unos diez días (del 31 de agosto al 9 de septiembre), provocaron precipitaciones superiores a las medias mensuales, e incluso a la media anual en algunos lugares.



**Fig. AP. 2.1.1 FOTOGRAFÍA DEL HURACÁN DAVID
MOMENTO ANTES DE PENETRAR A LA ISLA DE SANTO DOMINGO¹**

EL DAVID

El huracán David, el más grande del siglo para RD, se formó el día 25 de agosto de 1979, entre las Antillas Menores y las costas de África, a unos 2,400km. Su centro llegó a Dominicana el 31 de agosto de 1979, a las 4.30 de la tarde, entre Punta Palenque y Najayo, a unos 15km al este de Punta Salinas. Y después de permanecer unas ocho horas sobre el territorio nacional, salió nuevamente al mar al sur de Monte Cristi. (vs entre Baní y Yaguate).

¹ FEBRILLET-ABINADER/ 4.

Su “ojo” tenía un diámetro de unos 30km, lo que permitió rastrear su paso sobre la isla y recoger su trayectoria en el **mapa anexo**, pudiendo observarse la calma de los vientos y el cielo despejado en las localidades sobre las que pasó, por unos 15 a 30 minutos².

El país estuvo *durante cuatro días bajo la lluvia de David* (del 29 de agosto al 1 de septiembre) y las precipitaciones máximas fueron en Constanza 404.9mm, San Francisco de Macorís 326.0mm, Villa Altagracia 359.5mm, Pimentel 317.6mm y El Seibo 308.5mm³.

Los vientos máximos fueron de 240km/h, en Haina y San Cristóbal, situados en el semicírculo norte de la trayectoria, del huracán, y los vientos mínimos en ráfagas se extendieron a unos 280km hacia el norte y unos 180km hacia el sur de su centro.

Los efectos de David se dejaron sentir desde el 30 de agosto, sobre las regiones oriental y central, aumentando gradualmente sobre las cuencas de los ríos Bao, Yaque Norte, Camú.

Y durante el día 31, con máximas precipitaciones horarias hacia las seis de la tarde. Luego se dejaron sentir los efectos de convección directa y orográfica sobre la cuenca del Nizao, con precipitación máxima sobre Valdesia de 77mm de lluvia hacia las nueve de la noche, hora en que colapsaron las compuertas de la presa. Y en el resto del país la componente orográfica mantuvo las precipitaciones con intensidad variada hasta los días 1 y 2 de septiembre⁴.

En Santo Domingo el viento máximo sostenido registrado fue de 222km/h con una temperatura de 20°C y una humedad relativa del 99%. El cielo estaba completamente cubierto, con lluvia fuerte, cayendo ese día unos 172.8mm. Y la marea de tempestad se estimó entre unos 20 a 25 pies de altura, con fuerte rompiente sobre la costa⁵.

FORMACIÓN Y EVOLUCIÓN DEL DAVID

El 18 de mayo de 1979 el director del SMN, al dar inicio a la temporada ciclónica, indicó claramente que había una marcada probabilidad de que, durante esa temporada Dominicana fuera afectada por dos ciclones tropicales. El país había sido afectada sólo por el Eloísa (sept. 75) en esa década, y el promedio de este siglo era de cuatro ciclones por década, y no más de dos por año*. Como consecuencia de ello se tomaron diversas medidas, que contribuyeron a disminuir los daños provocados por el David⁶.

El 24 de agosto pronosticadores del SMN observaron una marcada ondulación en las isobaras con características inequívocas de onda tropical. Y horas más tarde la fotografía del satélite meteorológico confirmaba que una onda tropical fuerte se había formado al oeste de Cabo Verde, a unos 2,500km al este de las Antillas Menores. Ese mismo día una célula de dicha onda se convirtió en depresión tropical y a los dos días, el día 26 se convirtió en tormenta tropical, moviéndose hacia el oeste a unos 33km/h⁷.

El día 27 de agosto se avisó que el David se había convertido en huracán, sin ofrecer peligro para RD en ese momento, encontrándose a unos 850km al este de la Isla Barbados. El día 28 de agosto se informó que David era “extremadamente peligroso”, y continuaba moviéndose hacia el oeste.

El día 29 de agosto, se anunció su llegada inminente, confirmada por fotografías satélite y diversos análisis meteorológicos se dio “Aviso de Huracán”, peligro inminente, para la zona desde Cabo Engaño a Punta Salinas. Y se avisó que habría “lluvias hasta de 300mm” sobre el territorio nacional al paso del huracán, con inundaciones y desbordamientos de ríos y arroyos, para que se tomaran las medidas convenientes⁸.

* El número máximo de ciclones fue de ocho, en la década de los 60, siendo el promedio cinco ciclones por década. Y los meses con más ciclones que afectaron a Dominicana son en agosto y septiembre.

2 El “ojo” del huracán. A pesar de que los huracanes generan vientos tan destructores, en su centro el viento permanece en calma y generalmente no posee nubes ni precipitaciones, y la temperatura es más elevada que en sus alrededores, y la presión es la mínima del sistema.

3 GONZÁLEZ/ 13.

4 La reducción de los daños al norte de la Cordillera Central se debe al efecto del viento y la presión, al efecto de disipación del huracán al desplazarse sobre áreas de tierra, debido a la fricción superficial y especialmente a la pérdida de su fuente principal de energía, que es la transferencia de calor sensible y latente desde la superficie del mar. FEBRILLET-ABINADER 7-8 y 11.

5 La cadena nacional de radio y televisión puso su estación central en el SMN, transmitiendo boletines cada tres horas, y posteriormente cada hora, a medida que los efectos del huracán se fueron tornando más intensos. La antena de la emisora central fue derribada por los fuertes vientos, siendo relevada por Radio Clarín. GONZÁLEZ/ 7.

6, 7, 8 GONZÁLEZ/ 1, 8, y 10 respectivamente.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

CUADRO AP. 2.1.1
RELACIÓN DE CAUDALES AL PASO DEL HURACÁN DAVID

Río	Lugar	Caudal David m ³ /s	Caudal medio m ³ /s	Relación %	Área km ²
Yaque del Norte	Jimanagao	3,407	27.0	126.19	2,534.0
Yaque del Norte	Vertedero Tavera*	2,324	---	---	---
Yaque del Norte	Boma	5,081	17.8	285.45	710.0
Bao	La Zanja	1,424	19.0	74.95	894.0
Nizao	La Peñita	3,778	20.0	188.90	786.0
Yuna	Los Quemados	1,212	17.9	67.71	363.0
Yuna	Los Plátanos	4,045	---	---	---

* Vertedero de la presa de Tavera en el río Yaque del Norte, aguas arriba de Tavera y aguas abajo de Boma.

EL FEDERICO

Cumpliendo la probabilidad de que vinieran dos ciclones ese año sobre Dominicana una segunda tormenta tropical hizo sentir sus efectos sobre el territorio nacional.

Federico llegó prácticamente una semana después que el David, el día 5 de septiembre de 1979, y después de describir una "L" invertida frente a Santo Domingo, siguió una trayectoria similar a la de David. Su "ojo" difuso y cubierto de nubes estratiformes impidió determinar su diámetro. Los vientos máximos de Federico fueron de 80km/h y sus primeras lluvias se unieron a las últimas del David⁹.

Federico apareció como depresión tropical el 30 de agosto de 1979, a unos 200km al norte de donde se formó David. Siguió una trayectoria parecida, y al aproximarse al sur de Santo Domingo giró hacia el NO, penetrando ya como tormenta tropical el 5 de septiembre, un poco más al NO del lugar por dónde lo hizo David. Sus precipitaciones, acaecidas entre el 2 y 9 de septiembre, fueron de una intensidad tal, que el día 6 en Azua se registraron 330.6mm, el 50% de su media anual.

LAS LLUVIAS DEL DAVID Y DEL FEDERICO. SUS EFECTOS

El David y el Federico, convirtieron el 1979 en un año de lluvias excepcionales, ya que en sus once días de influencia (del 30 de agosto al 9 de septiembre de 1979), se registró un 40% de las precipitaciones anuales promedio en la mayoría de las estaciones, y en algunos lugares fueron superiores al 70% de la anual como en San José de Ocoa y San Pedro de Macorís. Y el récord porcentual fue el de Azua que, en esos once días de lluvia, acumuló 851.9mm, el 127.6% de lo que llueve normalmente en esa región, durante todo un año.

Las mayores precipitaciones totales, debidas al paso del David ocurrieron en Valle Nuevo (611.9 mm), el Pico Duarte (532.1mm.), Los Quemados, Bonao, (450.1mm), Constanza, (404.9mm)¹⁰.

Las máximas en 24 horas ocurrieron en: Valle Nuevo (517.5mm), el Pico Duarte, (445.1mm), Los Quemados, Bonao (422.8mm); y Constanza (343.8mm); todas el día 31 de agosto.

Y las máximas intensidades horarias, debidas al David y al Federico, se registraron en Guayabal (Padre de las Casas) con 80mm el 31 de agosto. En Valdesia con 77mm, entre las 20-21h del mismo día, hora en que se produjo el colapso de las compuertas de la presa de Valdesia y otra vez Valdesia 72mm el día 7 de septiembre. Lluvias que fueron superiores a los 60mm, la máxima intensidad horaria¹¹.

9 FEBRILLET-ABINADER/ 6-8.

10 Las células de precipitación superior a los 300mm para los tres días de influencia de David, se concentraron sobre la Cordillera Oriental y sobre el Macizo Central.

11 FEBRILLET-Exp/ 5.

Las precipitaciones de David fueron superiores a las de Federico, en valor medio e intensidad horaria, a pesar de que su tiempo de influencia fue la mitad que el de Federico. La precipitación media del David fue de 216mm entre el 31 de agosto y el 2 de septiembre, mientras que la del Federico fue 180mm, del 3 al 9 de septiembre. Pero Federico fue el que produjo más daños con sus descargas, ya que cuando llegó encontró los acuíferos prácticamente llenos, el suelo saturado y los cauces con mucho volumen de escorrentía todavía¹².

Estas precipitaciones excepcionales provocaron inundaciones en muchos lugares, durando las principales unos cuarenta días en el Bajo Yaque del Sur, próximo a Jaquimeyes. Unos veinticinco días en el Bajo Yuna y unos ocho días en el Bajo Yaque del Norte, próximo a Castañuelas. Se tornaron artesianos la mayoría de los pozos de Azua, aparecieron numerosos nuevos manantiales y hubo grandes deslizamientos de tierra¹³.

En cuanto al **arrastre de sedimentos** posteriormente al evento se han realizado levantamientos batimétricos en los embalses del país, lo cual ha arrojado como resultado que algunos han perdido una gran parte de su volumen útil. Para dar una idea en el embalse de Valdesia, se determinó un arrastre total de 32.9M m³ de sedimentos que fueron depositados por estas crecientes¹⁴.

Los Huracanes David y Federico, con sus intensas lluvias, **produjeron recargas excesivas de los acuíferos** más importantes, y de una magnitud tal que duraron largo tiempo sus efectos, provocando que en diversas regiones del país aparecieran *nuevos manantiales* y que *algunos pozos se tornaran artesianos*. Así en:

- *Azua*. Cerca de 60 pozos se tornaron nuevamente artesianos, inundando los cultivos de una extensa área de la llanura y provocando la pérdida de la agricultura, como en Los Negros¹⁵.
- *Boca Chica*. Posibles afloramientos del Brujuelas con numerosas emanaciones de agua dulce en el mar, entre Andrés y Boca Chica (frente al hotel Hamaca)
- *Ramón Santana*. 19 nuevos manantiales surgieron cerca del poblado.
- *Pedro Sánchez*. 31 manantiales, que se secaron un mes después del David.
- *El Valle*. Surgieron manantiales en los patios de las casas que se secaron el día 4 de septiembre.
- *Loma Caballo y Roderia*. Derrumbes provocados por surgimientos de dos manantiales.

En la *región suroeste* la recarga originó un levantamiento del nivel freático. El río Bermesi, antes seco, conducía unos 400l/s y el lago Enriquillo subió de nivel, inundando predios vecinos¹⁶.

SUS EFECTOS EN LA RED HIDROMÉTRICA NACIONAL

Las crecientes del David y Federico, con su energía incontrolable destruyeron el 70% de la red hidrométrica nacional y modificaron considerablemente los cauces de los ríos. No se pudieron obtener los hidrogramas de las crecidas de los ríos más importantes, ni determinar con exactitud el escurrimiento total de los ríos en ese año¹⁷.

12 FEBRILLET-ABINADER/ 12 y FEBRILLET-Exp/ 21.

13, 14 FEBRILLET-Exp/ 5, FEBRILLET-Exp/ 22.

15 La zona occidental del Valle de Azua está constituida por capas que van, desde más o menos permeables hasta impermeables, El acuífero es freático en la parte NO y hay condiciones de artesianismo en la mayor parte del mismo.

Las fuertes lluvias registradas provocaron la elevación del nivel freático (más de 5m en algunos casos) y la de la presión artesiana (hasta 4m sobre el nivel del terreno, en algunos casos). Un mes después del paso de David y Federico los caudales surgentes en una parte del área inundada, daban un caudal de 2.82m³/s, y estimándose que el caudal total podría ser de 4m³/s, según el INDRHI. FEBRILLET-Exp/ 26-27.

16 FEBRILLET-Exp/ 5.

17 Para reinstalar la red hidrométrica a su nivel anterior al David y del Federico habría que adquirir 30 limnógrafos de flotador, y 26 teleféricos o cable-vía para medir los caudales de crecidas de los ríos. Instalar unas 800 miras limnimétricas, reponer equipos para aforar crecidas, medir sedimentos, etc. Todo lo cual llevaría de dieciocho a veinte instalarlo, después de recibir el equipo. Mientras, para atender a las necesidades urgentes, se diseñó un Programa de Emergencia en base a instalar miras de estiajes y niveles de crecidas. FEBRILLET-ABINADER 14-15.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

Hubo que aforar usando la medición indirecta de crecientes área-pendiente, e identificar los puntos de crecida máxima con marcas, al destruirse los molinetes. Métodos que permitiendo tener un estimado de la mayoría de las crecidas pico, sobrepasando la mayoría de ellas la crecida de cien años. Los daños a la red climática fueron menores¹⁸.

RELACIÓN DE SECCIONES TRANSVERSALES REALIZADAS EN LOS RÍOS DE LA REP. DOMINICANA, DESPUÉS DEL PASO DEL HURACÁN DAVID Y LA TORMENTA TROPICAL FEDERICO			
RÍO	LUGAR	NIVEL MAX. (m)	CAUDAL (m³/s)
1 Yaque del Norte	Tavera	11.00	2,324
2 Nizao	La Peñita	9.00	3,778
3 Yaque del Norte	Jinamagao	8.54	3,407
4 Yaque del Norte	Boma	7.00	5,081
5 Bao	La Zanja	6.80	1,424
6 Ocoa	El Limón	6.10	1,402

RECOMENDACIONES DESPUÉS DEL DAVID

A raíz del huracán David se adoptó como *intensidad horaria máxima de precipitación 80mm/h*, a fines de diseño, en sustitución de los 60mm que se usaban antes de 1979.

Y se recomienda que el diseño para vertederos debe ser en base al 25%-50% de la PMP que produzca una creciente laminada por el embalse que puede ser soportada por el cauce que ponga en peligro vidas humanas¹⁹. Lo que da mayor seguridad para una creciente milenaria y un diseño económico²⁰.

18 Las precipitaciones caídas durante el paso de David y Federico, generaron dos tipos de crecidas. Una de corta duración y gran valor pico, y otra que transportó mayor volumen de agua con menor pico.

FEBRILLET-ABINADER/ 13.

19 Y esto en base a que las intensidades de la precipitación en 24 horas oscilaron entre el 20 y el 52% de las PMP del modelo de huracán, durante el David.

20 FEBRILLET-Exp/ 6.

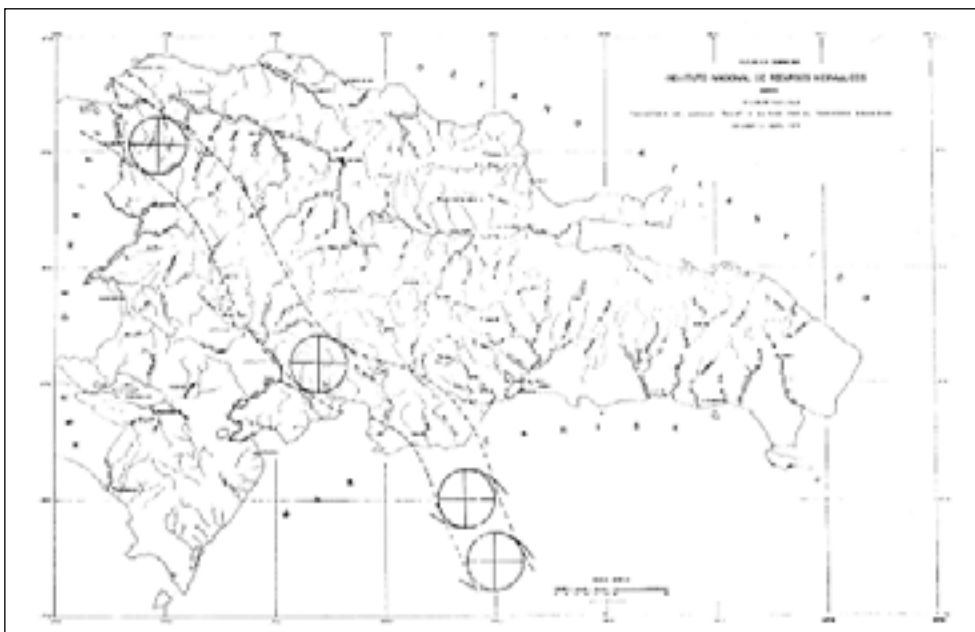


Fig. AP. 2.1.2 TRAYECTORIA DEL HURACÁN DAVID
(tocó tierra el 31 agosto 1979, a las 4:30 de la tarde)

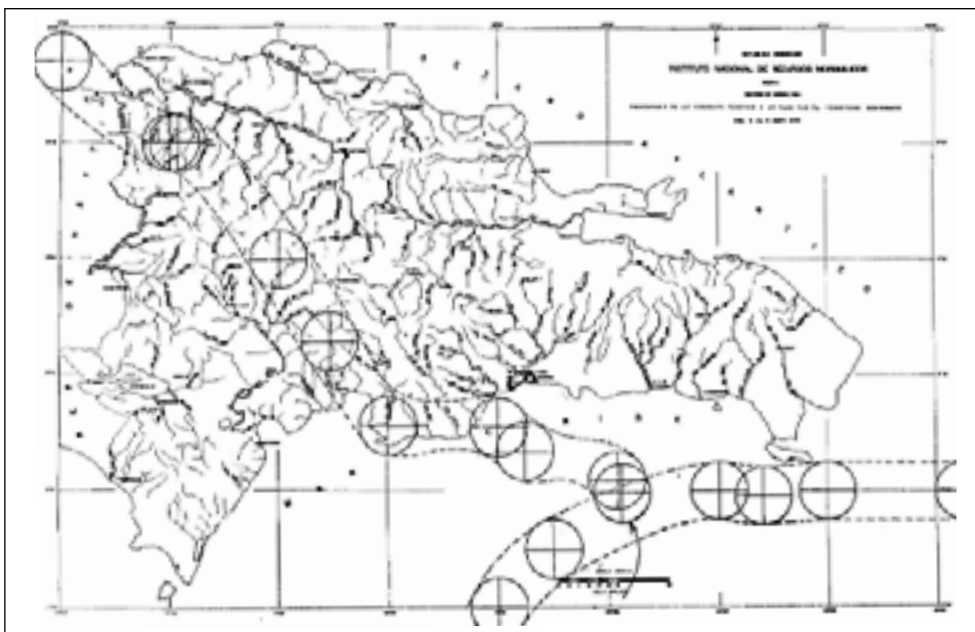


Fig. AP. 2.1.3 TRAYECTORIA DE LA TORMENTA TROPICAL FEDERICO
(tocó tierra el 5 septiembre 1979)

APÉNDICE 2.2

RED PLUVIOMÉTRICA DEL INDRHI

INTRODUCCIÓN

La vida, en cualquiera de sus formas, depende del agua y ésta de las lluvias que son su principal fuente de abastecimiento. Por eso los indios bolivianos llamaban al agua “sangre de la Pachamama”, de la Madre Tierra.

Las lluvias tienen una distribución variable en el tiempo y en el espacio. Y de ahí *la importancia de conocer su comportamiento*, su frecuencia, sus leyes e intensidades para tener guías y poder tomar decisiones respecto su abastecimiento y control, su uso y almacenamiento en el futuro.

La Hidrología tiene unos 5,000 años como práctica. El faraón Menes construyó obras de riego y drenaje importantes hacia el año 3.200 A.C. Entre las primeras esculturas de Teotihuacán, en México, aparece un esquema completo del ciclo hidrológico. Y el primer curso universitario de hidrología se dio en la Universidad de Michigan en 1912. Y posteriormente se enriqueció la relación de la hidrología con la ingeniería civil, la agronomía, la silvicultura y otras disciplinas.

La civilización moderna depende del agua mucho más que las civilizaciones pasadas, lo que *exige un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos*, desde las lluvias al consumidor. Lo que implica unos datos meteorológicos más depurados, una mejor concepción, diseño, construcción, operación y gestión del mundo relacionado con los recursos hídricos.

La abundancia y la calidad del agua condicionan las posibilidades de un desarrollo económico y social, y de ahí *importancia del estudio de las precipitaciones*.

La RD tiene una relativa abundancia de recursos acuíferos, pero *la irregularidad de sus lluvias en el espacio y en el tiempo, exige una mejor medición, conservación y planificación y gestión*, de nuestros recursos hídricos. De ello depende el que la RD tenga el agua que necesita para su desarrollo¹.

El INDRHI es el organismo responsable de realizar tales tareas, a nivel nacional, cubriendo todos los usos y transformaciones del agua, tanto a nivel superficial como subterráneo, su conocimiento cuantitativo y cualitativo, y el de su variabilidad espacio temporal².

DESARROLLO DE LA RED CLIMATOLÓGICA DEL INDRHI

1946: Había 37 estaciones pluviométricas del SMN de la Marina de Guerra, de las que once eran anteriores al año 1925, siendo la más antigua la de Puerto Plata del año 1905.

1950: Se inicia la Red Hidrológica Nacional, como “Oficina de Hidrología y Riego”, adscrita a la Secretaría de Obras Públicas y Comunicaciones. Y una misión de expertos de la OMM, dictó un curso de meteorología en Santo Domingo. Colaboración que se continuó con énfasis en la capacitación de personal profesional y técnico, mediante becas en el extranjero.

¹ Relativa abundancia de recursos de agua. La relación actual de la producción/demanda de agua de la RD está dentro de los límites de abundancia de agua (2,200m³/hab-año). Pero se estima que habrá una escasez de agua en las primeras décadas del próximo siglo, con el incremento de la población y el nivel de sus necesidades.

² DTA/2-3 FEBRILLET-Hidro/ 1 y FEBRILLET-MARTINEZ S./ 8.

1954: Se empieza la recopilación de datos hidrológicos, en forma sistemática, cuando la oficina depende de la Secretaría Agricultura (SEA). Los datos estadísticos de las mismas no eran continuos³.

1965: Se crea el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI), organismo autónomo responsable del desarrollo de los recursos hídricos de la RD (Ley N° 6, del 8 de septiembre de 1965). Su División de Hidrología quedó encargada de la recopilación, procesamiento y análisis de la información hidrológica con carácter oficial para todo el país. Y, a partir de ese año, recibió ayuda técnica y financiera de varias agencias internacionales (PNUD, GTZ y AID, entre otras) para la organización y mejoramiento de las redes hidro-meteorológicas).

1970: Se obtiene un préstamo de US\$170,000 del AID para la ampliación de la red climática e hidrométrica.

1973: La OMM llevó a cabo un proyecto para el desarrollo del SMN, con fondos del PNUD y del GORD, para continuar los programas de capacitación, y mejorar las redes de estaciones de observación.

1974: La CEE aprobó la donación de un radar meteorológico para la observación y vigilancia de huracanes en el Caribe a establecerse en Santo Domingo, que permitiría además pronósticos de precipitación en tiempo real. Radar que entró en operación en 1975⁴.

1982: A raíz de los ciclones David y Federico (1979), se firmó un acuerdo con el PNUD para el “Fortalecimiento de las Actividades Agro-meteorológicas e Hidrometeorológicas, y el desarrollo de un sistema operativo de Previsión Hidrológica en la RD”. Proyecto implementado por la OMM, y por la ONAMET-INDRHI como contraparte nacional⁵.

1986: Se decide que todo lo concerniente a hidrología sería desarrollado por la División de Hidrología del INDRHI, y que la División de Hidrometeorología de la SMN realizaría las actividades y estudios hidrometeorológicos que necesiten ambas instituciones. Y el INDRHI, por su parte, seguiría operando su red de más de 40 estaciones climatológicas ordinarias, con fines hidrológicos, y realizando algunas labores de hidrometeorología para atender sus necesidades más urgentes para el planeamiento y operación de las obras de riego⁶.

3 En 1953 se realiza el Informe preliminar acerca de la Explotación de los Recursos Hidráulicos de la RD por el Ing. Laplin, de la División de Agricultura y Recursos Naturales del Instituto de Asuntos Interamericanos.

4 Radar que entró en operación en 1975. Su instalación se retrasó 14 años por dificultades locales para financiar la construcción de su torre.

5 Los objetivos del proyecto eran: 1) establecer un programa nacional de aplicación de la meteorología a la agricultura y a la protección de los recursos naturales. 2) Operación de una estación de radar meteorológico y de prevención de desastres (huracanes e inundaciones). 3) Aplicación de los datos meteorológicos e información hidrológica a la conservación de cuencas hidrográficas. 4) Operación de un banco de datos meteorológicos, hidrológicos e hidro-meteorológicos (archivo, procedimiento y análisis). 5) Y capacitación del personal profesional y técnicos de campo. **OMM/ 6.**

6 Y así el **INDHRI**, dentro de su *sistema de previsión hidrológica y de crecidas* en las cuencas de los ríos San Juan y Yaque del Sur, operaba cinco *estaciones pluviométricas e hidrológicas, automáticas o semiautomáticas*, conectadas a la red telemétrica vía satélite. Red para el registro, transmisión y procesamiento de datos tanto hidrológicos como meteorológicos de dichas cuencas.

Se recomendó fortalecer la **ONAMET** como institución, a fin de que pueda satisfacer las necesidades urgentes de información básica, y de aplicaciones prácticas, de los principales usuarios y entidades que tienen el deber de desarrollar los recursos naturales del país. La carencia de un servicio apropiado que satisfaga esas necesidades esenciales, obliga a la duplicación de esfuerzos y la atomización de funciones entre los principales usuarios que se ven obligados a cubrir esas deficiencias, que sin embargo son ineficientes en la recolección de la información básica, sobre todo si no se da un intercambio total y oportuno de la información. Además de que se produce un encarecimiento de los servicios.

OMM/ 3-4, 12-15, 24.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

LAS PRECIPITACIONES EN REPÚBLICA DOMINICANA

El régimen pluviométrico de la RD es el más complejo de Las Antillas. *La lluvia anual promedio es de unos 1,400mm, con unos 110 días lluviosos*⁷.

Y la *distribución espacial de la lluvia tiene fuertes diferencias y contrastes*. Unos 40mm y menos de 50 días de lluvia en el Bajo Yaque del Norte y el Valle de Neyba por ejemplo, y más de 2,000mm y más de 150 días de lluvia en la Península de Samaná y la Cordillera Central (nacimientos de los ríos Yaque del Norte, Bao, Mao, Yuna y Artibonito) entre otros.

El mapa de lluvia media multianual muestra que hay *precipitaciones superiores a los 2,000mm* en amplias zonas de las regiones Norte y Noreste del país, en los alrededores del nacimiento del río Ozama, y del río Yuna (Cordillera Central) y en la sierra del Bahoruco (Polo, Villa Nizao), así como sobre la cuenca del río Nizaíto.

Los mínimos anuales, con menos 800mm, se observan en amplias zonas del bajo Yaque del Sur y en el valle de Neyba llegando a menos de 600mm. Y otros mínimos con valores inferiores a 800mm se observan en amplia área de la cuenca Yaque del Norte, y cerca de Pedernales, en la porción suroeste de la isla⁸.

CUADRO AP. 2.2.1
VALORES MÁXIMO Y MÍNIMO ANUAL
EN DIFERENTES ESTACIONES (1993)

LOCALIDAD	MÁXIMO (año) mm	MÍNIMO (año) mm
Polo	4,241	703
Barahona	3,115	475
Azua	1,475	242
Santo Domingo	2,232	866
La Romana	1,865	519
Constanza	1,652	618
La Vega	2,610	788
Pimentel	3,673	912
Santiago	1,551	616
Samaná	4,128	1,064
Villa Altagracia	4,090	1,074
Puerto Plata	2,958	1,076
Elía Piña	4,467	1,078
Nagua	4,327	1,101
Restauración	4,652	716
Villa Riva	4,236	926

(CLALLM/ 6)

7 **1,400mm anuales de lluvia**, equivalentes a 1,400 litros por m², ya que 1mm de altura de lluvia equivale a 1 litro de agua distribuido uniformemente en un m² de superficie.

La distribución de la lluvia en la RD es muy compleja durante todo el año, debido a su orientación y al relieve accidentado. Entre los factores que influyen en la distribución de la lluvia a lo largo de cada año, cabe destacar: 1) el paso sobre el territorio de los fenómenos atmosféricos de traslación, tales como frentes, vaguadas, ondas del este, ciclones tropicales; 2) el ascenso orográfico del aire húmedo; y 3) la convección o ascenso por calentamiento del aire sobre áreas llanas y bajas.

8 **LLAMAS-AI/ 4-5.**

Tiene **dos regímenes de lluvia**, según las variaciones mensuales, definidos por los fenómenos meteorológicos de traslación (huracanes, sistemas frontales, vaguadas, ondas del este, etc.).

Al “norte de las cordilleras Septentrional y Oriental” la *época lluviosa* es en el otoño y en el invierno climático, con más de 600mm, siendo noviembre el mes más lluvioso. Y la *época seca* es en la primavera y verano, con unos 300mm.

“El resto del país” tiene el otro régimen de lluvias. La *época lluviosa* con más de 600mm es en el verano en unas regiones⁹, y en la primavera en otras zonas del país¹⁰. La *sequía* se da en el invierno climático, con menos de 200mm, en ambos casos. En general marzo es el mes más seco, y mayo es el más lluvioso.

Las lluvias extremas son *más contrastadas en el tiempo que en el espacio, oscilando entre 240mm y 4,500 mm* (ver Cuadro AP. 2.2.2)¹¹.

CUADRO AP. 2.2.1
LLUVIAS EXTREMAS EN LA REPÚBLICA DOMINICANA

DISPERSIÓN DE LA LLUVIA EN LA REPÚBLICA DOMINICANA ¹²		
LOCALIDAD	Valor Máximo	Valor Mínimo
Restauración	4,529mm (1960)	716mm (1941)
Villa Rivas	4,236mm (1970)	926mm (1967)
Barahona	4,236mm (1970)	475mm (1947)
Azua	1,475mm (1963)	242mm (1957)
INTENSIDADES MÁXIMAS EN 24 HORAS		
LOCALIDAD	Valor	Fecha
Batey Santa Elena	635.0mm	16 junio 1972
Tamayo	575.4mm	16 junio 1972
Barahona	566.9mm	6 mayo 1974
Valle Nuevo	517.5mm	31 agosto 1979
Pico Duarte	445.1mm	31 agosto 1979

La evaporación llega a 2,000mm anuales en la cuenca del Yaque del Norte, en la llanura de Azua, el valle de Neyba y la parte Oeste del Valle de San Juan, zonas áridas y con mayor necesidad de agua de riego. En las zonas donde disminuye la evaporación, también baja la evapotranspiración.

En general *los meses de mayor evaporación son julio y agosto*, si bien en algunos casos es en marzo y abril, registrando en dichos meses la mayor demanda de riego. Y los meses con menor evaporación son noviembre y diciembre, siendo la época de menor demanda de riego.

La evaporación y la ETP *varían en forma directamente proporcional en el espacio y el tiempo*¹³.

9 Zona de los Haitises, cuencas del Ozama, Isabela, Haina, Alto Y una. Alto Nizaito, Las Cuevas, Sierra de Baoruco y porción occidental de la Sierra de Neyba.

10 Sobre los Haitises, las cuencas del Yuna, Ozama, Isabela, Haina, Mahomita, Alto Yaque del Norte, Guanajuma, Jagua, Bao, Mao, Guayubín, Joca, San Juan, Alto Yaque del Sur y Artibonito, o sea hacia la Cord. Central.

11 FEBRILLET-Exp/ 2-3.

12 FEBRILLET-Exp/ 1-4.

13 FEBRILLET-Ins 3, 5-6.

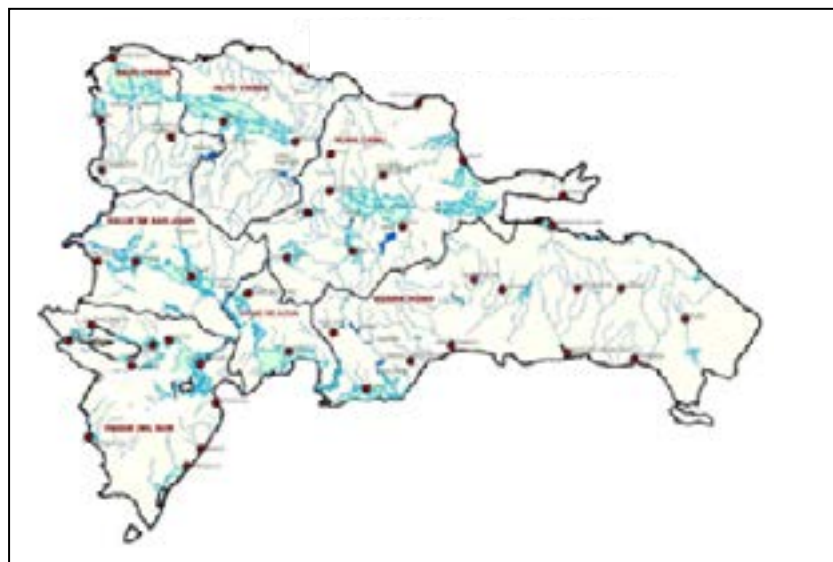


Fig. AP. 2.2.1 MAPA DISTRITOS DE RIEGO



Fig. AP. 2.2.2 MAPA DIVISIÓN PROVINCIAL

RED CLIMATOLÓGICA DEL INDRHI

El objetivo de la red climatológica e hidrométrica del INDRHI es *dar apoyo al diseño y operación de las obras hidráulicas requeridas* para el desarrollo de los distritos de riego. Red que complementa a la del SMN en las áreas de interés para la Institución¹⁴.

La **distribución de las estaciones** climáticas del INDRHI se ha hecho según los “requerimientos de los distritos de riego y de la propia división de hidrología”, para la realización de los estudios e investigaciones que se realizan para cada distrito. Por ello están “ubicadas” en las zonas de riego y en los valles de posible desarrollo, así como en las vecindades de los lagos de las presas. Y algunas están ubicadas estratégicamente en las partes altas de las cuencas con gran potencial de desarrollo.

14 El INDRHI tiene 7 Oficinas Regionales (Distritos de Riego) para dar apoyo en el área de la Agro-meteorología (a la operación de los sistemas de riego del país. (Fig. AP. 2.2.1). FEBRILLET-Ins/ 3.

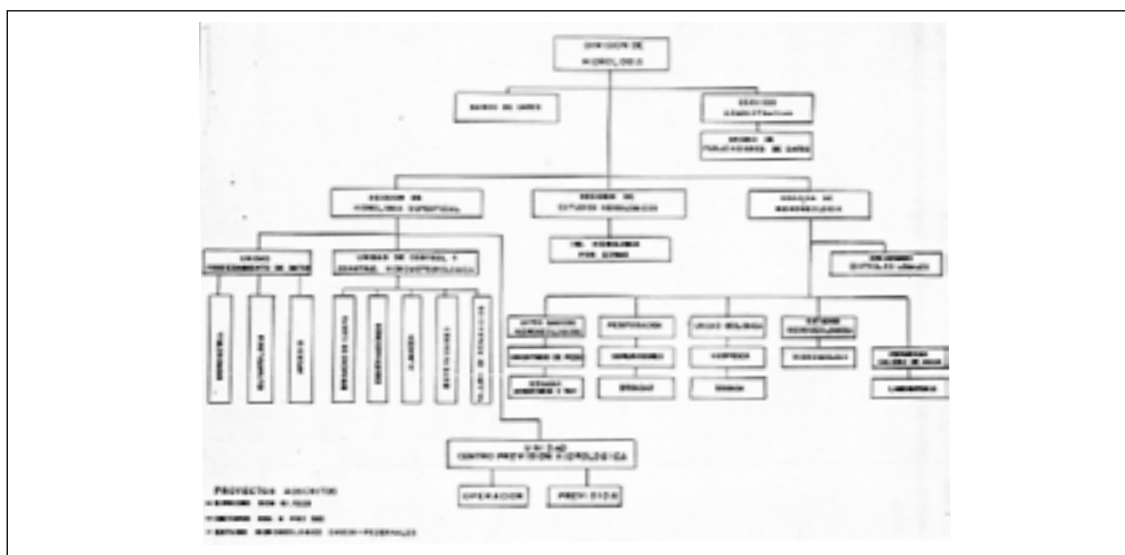


Fig. AP. 2.2.3 ORGANIGRAMA DE LA DIVISIÓN DE HIDROLOGÍA 1985

Para la ubicación de la red pluviométrica y pluviográfica, se tomaron en cuenta principalmente las “necesidades de la división de hidrología” sobre datos de lluvia, para los estudios hidrológicos de las diferentes cuencas. Y por eso, las estaciones *pluviométricas*, *pluviográficas* y *totalizadoras* están “ubicadas” en las parte alta y media de las cuencas, preferentemente.

Y las estaciones remotas en las cuencas de los ríos San Juan y Yaqué del Sur, así como en la del río Nizao, con fines de implementar un sistema de previsión hidrológica en tiempo real¹⁵.

La densidad pluviométrica de la red es de “1 pluviómetro/384 km²”. Y la de evaporación es “1/1,300km²”, similar que para la mayoría de los otros parámetros medidos.

CUADRO AP. 2.2.3 TIPOS DE ESTACIONES CLIMÁTICAS

Según el instrumental de que disponen

- a) *Climática o completa*. Mide “precipitación, temperatura máxima y mínima; temperatura del bulbo seco y bulbo húmedo, nubosidad, y evaporación”. Y algunas miden además “insolación, radiación solar, horas de sol, viento, humedad del suelo, temperatura del suelo y presión¹⁶”.
- b) *Pluviométricas*. Miden: precipitación¹⁷.
- c) *Pluviométricas totalizadoras*.
- d) *Pluviográficas*, que constan de “pluviógrafos y pluviómetro”.
- e) *Termo-pluviométricas*. Miden: temperatura y precipitación.
- f) *Especiales*. Para fines, específicos. Por ejemplo, radiación cósmica, sinóptica, agro-meteorológica, microclimas, etc.
- g) *Remotas* que incluyen el sistema para la recogida y “transmisión de datos vía satélite” a la oficina principal del INDRHI, “2 estaciones climáticas completas y las 16 estaciones con datos de lluvia y niveles de ríos”.

15 FEBRILLET-Ins/ 9.

16 FEBRILLET-Ins/ 8.

17 Los pluviógrafos registran las precipitaciones en continuo, mientras los pluviómetros registran un valor total diario.

CUADRO AP. 2.2.4 DENSIDAD DE LAS REDES CLIMÁTICAS

1. Precipitación

Recomendado: Una estación/100 a 250km² y en zona montañosa de islas 1/25km², siendo pluviógrafos un 10%.

Actual: INDRHI y meteorología, una por cada 384km². Deficiente en montañas.

2. Evaporación

Recomendado: 4/25 pluviómetros¹⁸.

Actual: Aceptable, pero requiere ampliación en distritos de riego.

3. Temperatura

Recomendado: En zonas de baja población: 1/1,000km². En zonas densamente pobladas o en vía de desarrollo: 1/200 km².

Actual: INDRHI 31, Meteorología 78.

Requerimiento: 250 estaciones. Faltan 141 estaciones¹⁹.

4. Viento, radiación e insolación

Recomendado: Igual a temperatura.

Actual: Deficiente, debe ampliarse.

Por otra parte el instrumental de la red climática del INDRHI era *demasiado variado*, (1985) creando problemas de mantenimiento y operación. La variedad del tipo de pluviógrafos se debe a las condiciones de intensidad de la lluvia. Para zonas muy intensa se usan los de pesada; en las zonas normales los de sifón y en las zonas intermedias los de báscula²⁰.

Observaciones climáticas. Las *variables observadas en las estaciones climatológicas* incluyen principalmente precipitación, evaporación, temperatura, dirección, velocidad de vientos, nubosidad y presión.

Las observaciones *climáticas* se realizan tres diarias (a las 8, 14, y 20).

Las *pluviométricas* son también dos observaciones diarias (a las 8 y 20).

En las *estaciones pluviográficas* se retiran las bandas semanal, mensual y trimestralmente según, el tipo de pluviógrafo. Y al retirar las bandas, se mide el total de la lluvia recolectada y se comprueba con el total registrado.

Y en los *pluviómetros totalizadores* se realiza una observación al mes²¹.

18 4/25 pluviómetros: 4 Evaporímetros /25 Pluviómetros de la red pluviométrica.

19 FEBRILLET-MARTÍNEZ S./ 7.

20 Instrumental demasiado variado. Ver FEBRILLET-Ins/ 10.

En 1988 una misión de la GTZ se hizo una **evaluación de las estaciones hidrológicas y meteorológicas del INDRHI** (237 estaciones de aforo, precipitaciones, y meteorológicas) sobre la condición de las estaciones, equipos e instalaciones con que contaban, y que podía hacerse para su mantenimiento. El informe final indicó que *"casi todas las estaciones debían ser arregladas urgentemente"*.

Y para mejorar la red de medición se propuso: 1) "Visitar y controlar las estaciones cada tres meses", por un responsable del INDRHI y un mecánico, que deben llevar consigo piezas de repuesto, instrumentos, artículos para la limpieza y aceites, y suficientes baterías. Y las inspecciones de las estaciones deben mejorarse. Visita del supervisor y del mecánico que debiera ser cada tres meses a las estaciones con instrumentos, y cada seis meses a las estaciones equipadas sólo con pluviógrafos y totalizadores, y cada doce meses las estaciones equipadas sólo con miras (escalas hidrométricas). **KELM/ 1-2.**

21 **Envío de la información.** Los encargados de leer los instrumentos, remiten por correo cada diez días la información climática, y mensualmente el resto de la información. Para la lectura de los instrumentos se les da un entrenamiento, y están bajo supervisión permanente.

Los responsables de recoger información en el campo son los encargados de las brigadas de aforo y los supervisores de campo. Mensualmente recolectan los documentos originales, verifican la información y el estado de los instrumentos, toman decisiones y ejecutan acciones encaminadas a mejorar la calidad de la información. **SALAS/ 24-25.**

La información recibida se depura, interpreta y computariza pasándola al **banco de datos**, donde es depositada, validada y procesada mediante programas de computadora en lenguaje "Clipper". En el banco de datos está depositada la *información* de "126 estaciones de lluvia" diaria vigentes y de 55 estaciones suspendidas. Así como de "39 estaciones climáticas" vigentes y de 16 suspendidas, y de 64 estaciones pluviográficas vigentes, con información horaria, y 13 suspendidas²².

La red hidrológica del INDRHI fue concebida para dar apoyo a las necesidades hidrológicas de la institución. Pero **podría ser de uso múltiple si se completara el instrumental** de las estaciones climáticas, y se instalaran algunas estaciones pluviográficas adicionales en sitios estratégicos.

Y sería *de gran ayuda adquirir un radar meteorológico móvil*, para hacer investigaciones locales en algunas cuencas y mejorar la previsión hidrológica ayudando a las previsiones agroclimatológicas a corto, mediano y largo plazo²³.

**CUADRO AP. 2.2.5
SELECCIÓN DE ESTUDIOS HIDROMETEROLÓGICOS (1985)**

- Determinación de la zona donde se producen los aguaceros más intensos y originadores de las crecientes extraordinarias en la cuenca del río Yaque del Sur, a fin de recomendar la ubicación de su red telemétrica.
- Régimen pluviométrico promedio mensual y anual en la cuenca del Yaque del Sur.
- Características hidrometeorológicas en la cuenca del río Yuna.
- Cálculo de la precipitación media anual por sub-cuencas
- Análisis de la distribución temporal (horaria-mensual) de la lluvia en varias estaciones pluviométricas.
- Determinación de la relación lluvia promedio/escorrentía para varias subcuencas²⁴.

**CUADRO AP. 2.2.6
RESUMEN DE LA RED METEOROLÓGICA**

REGIÓN	Estaciones Existentes				Estaciones a Reinstalar				Nuevas Estaciones				Precisión %
	C	PLM	PLG	Total	C	PLM	PLG	Total	C	PLM	PLG	Total	
RD1: Yaque del Norte	9	4	-	13	-	3	-	3	-	4	5	9	4
RD2: Yaque del Sur	8	3	-	11	-	2	-	2	-	1	2	3	6.5
RD3: Yuna	5	11	-	16	-	1	-	1	-	2	3	5	5
RD4: Norte	2	4	-	6	-	4	-	4	-	2	1	3	4
RD5: Oriente	2	13	-	15	-	1	-	1	-	1	-	1	5
RD6: Ozama	4	8	-	12	-	3	-	3	-	-	-	-	7
RD7: Nizao	3	7	-	10	-	1	-	1	-	4	3	7	5
RD8: Suroeste	4	8	-	12	-	2	-	2	-	3	2	5	10
RD9: Macasia-Artibonito	5	10	-	15	-	2	-	2	-	-	-	-	6
Total				110				19	-	17	16	33	

C = Estaciones completas (PLM+PLG)

TOTAL DE ESTACIONES DE LA RED = 162

PLM = Pluviómetro

PLG = Pluviógrafo (CLRPLU/ 7)

22 **Informes elaborados por el banco de datos**, entre otros: el *reporte climático mensual*. Características estadísticas de las lluvias, lluvia total anual, mensual y diaria, número de días de lluvia, intensidad de lluvia y precipitación horaria. *Evaporación* mensual y anual. *Temperatura* media, promedio mensual y anual. *Nubosidad* promedio mensual y anual. Caudales medios diarios, mensuales, anuales y máximos mensuales y anuales. **FEBRILLET-Ins/ 13.**

Lenguaje "Clipper". Antes de 1989 usaba el "Fortran IV" para el manejo de los datos.

23, 24 **FEBRILLET-Ins/ 11-12 y 22; y FEBRILLET-Ins/... y OMM/ 19**, respectivamente.

RED PLUVIOMÉTRICA DE BASE EN LA RD

La **planificación racional de los recursos hidráulicos de un país** exige el conocimiento actual y previsible de los mismos. Y dado que la fuente primaria de los mismos es el agua precipitada se empieza por un *estudio de las lluvias, de su variabilidad espacio-temporal y de sus valores extremos*.

Una de las metas principales de una red meteorológica es poder *evaluar con precisión el volumen total de agua caído en una cuenca o región*, en un periodo de tiempo determinado. Es tener conocimiento y previsión de su situación meteorológica, lo que procura cada red y estación si bien desde sus metas específicas, con diferentes criterios respecto al uso, densidad y continuidad de la toma de datos.

En 1982 se firmó un acuerdo con el PNUD, a ser ejecutado por la OMM. Y entre sus objetivos estaban:

- 1) *Completar la red pluviométrica en todo el territorio nacional.*
- 2) *Seleccionar las estaciones, según una mejor representación espacial de la precipitación, teniendo en cuenta las zonas físico-climatológicas, las influencias orográficas y la homogeneidad direccional de la lluvia.*
- 3) *Estudiar la densidad deseada de la red y la calidad de las mediciones* (totales, mensuales/diarios y continuas) en función de la calidad de la información, y sus consecuencias económicas.
- 4) *Diseñar la red nacional pluviométrica, teniendo en cuenta la ubicación de las estaciones pluviométricas existentes y la de las estaciones hidrométricas. Y para ello: identificar las estaciones principales por cuencas, homogeneizar las estaciones, definición de las regiones homogéneas y complemento de datos para la red básica (≥ 10 años)²⁵.*

Se procuró elaborar una **red pluviométrica de base** que, con el menor número de estaciones pueda ofrecer al usuario (gestor, planificador, o técnico en general) *la información de base necesaria y suficiente* para alcanzar sus objetivos.

Red que no sustituye ni interfiere con otras redes existentes, sino que se complementa su información, dentro de límites. Los objetivos de la red de base son más a largo plazo que en los otros tipos de redes.

Para ello se dividió la RD en nueve regiones hidrometeorológicas, dada la topografía y la red hidrográfica del país. Regiones que corresponden a *zonas relativamente homogéneas* desde el punto de vista meteorológico, aunque con peculiaridades regionales²⁶.

Y se hizo un estudio para evaluar la *homogeneidad de cada una de las regiones meteorológicas* en las que se dividió el país. El objetivo principal de este estudio era *identificar qué estaciones podían ayudar a llenar datos en otras, o aumentar el de estaciones vecinas*²⁷.

La red pluviométrica diseñada para RD era un conjunto de 162 estaciones (*110 existentes, 19 a reinstalar, y 33 nuevas*). Estaciones bien dotadas, adecuadas para afrontar todos los problemas de planificación y gestión a nivel nacional (Cuadro AP. 2.2.6).

Se *instalaron 33 estaciones nuevas* (17 pluviómetros y 16 pluviógrafos), siguiendo las condiciones topográficas prevalentes y los coeficientes de irregularidad. Y por ello se dio preferencia

²⁵ LLAMAS-Inf/ 1.

²⁶ LLAMAS-Pia/ 5.

²⁷ **El test de homogeneidad** rechazó 27 de las 110 estaciones de la red general (25%), ya que no eran homogéneas con las de la región a la que pertenecían. Y por tanto no pueden ser utilizadas para la generación de datos de otras estaciones, reduciendo así la información utilizable para completar la red.

Y el test mostró una *concentración de estaciones no homogéneas al sur de la isla*, en las regiones de Ozama y Nizao sobre todo (39%), dados los altos coeficientes de irregularidad de estas regiones de características ciclónicas dominantes. *La mayor parte de las estaciones heterogéneas (18 de 27), son estaciones de larga duración (52 años), operadas por el SMN, lo que justifica la elaboración de una red básica, bajo la responsabilidad de un organismo de gestión y de planificación de recursos hídricos.*

LLAMAS-Pia/ 9.

a la instalación de “*pluviógrafos en las zonas de mayor irregularidad y a los pluviómetros en las zonas más regulares*”²⁸.

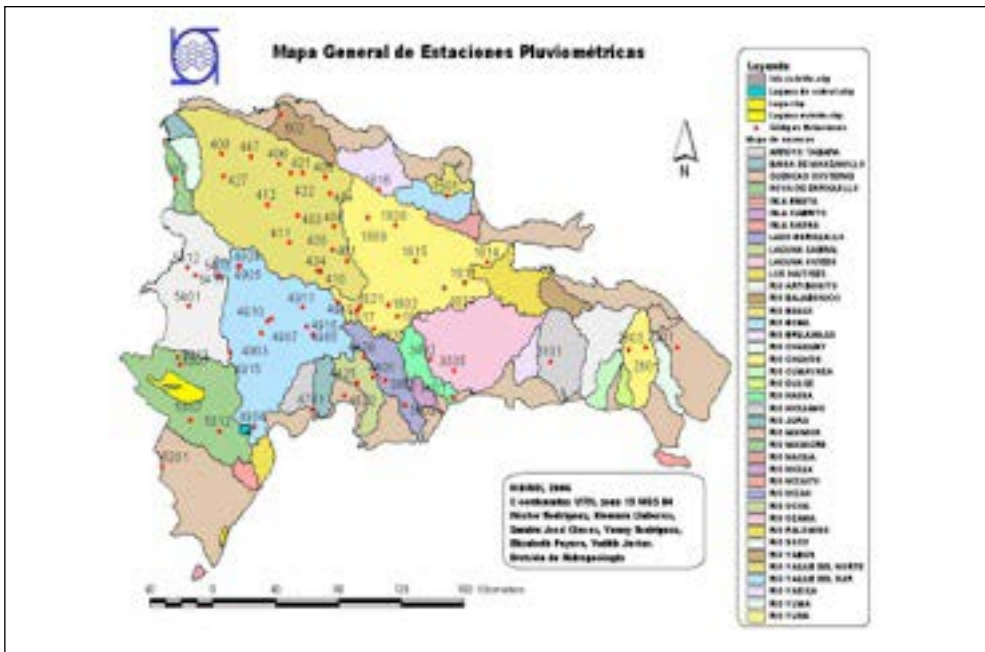


Fig. AP. 2.2.4 RED PLUVIOMÉTRICA

Y se previó la *reinstalación de 19 estaciones pluviométricas* que fueron abandonadas, por razones extra-técnicas, o desplazadas, después de un gran número de años de registro. Se recomendó que su reinstalación como *prioritaria*, a cualquier otra, pues las estaciones a reinstalar podrían actualizar toda su información hasta la fecha, previo complemento con otras estaciones apropiadas²⁹.

CUADRO AP. 2.2.7
LUGARES PARA INSTALACIÓN NUEVAS ESTACIONES

Sub Cuenca	Pluviométricas	Hidrométricas	Climáticas	Total
Yaque del Norte	5	11	2	18
Bao hasta Presa López	8	9	2	19
Bao hasta Presa Monción	4	6	1	11
Otras Cuencas	2	3	1	6
	19	29	6	54

Una vez que la red de base fue definida y que los datos de las estaciones instaladas fueron completadas, se completaron los datos de todas las estaciones de la red, por generación estocástica, *en base a la información conjunta de varias estaciones vecinas*, hasta una cobertura común de 40 ó más años.

28 Los pluviómetros deben instalarse, particularmente, en regiones montañosas y en aquellas en las que la distancia entre dos estaciones permita el paso de lluvias convectivas sin registro. Y en las regiones de difícil acceso algunos pluviógrafos deberán ser totalizadores.

29 La instalación de las nuevas y la reinstalación de las otras 19 se estimaba que tomaría unos tres años.

LLAMAS-Pla/ 8.

CUADRO AP. 2.2.7
DETALLE DE ESTACIONES POR REGIÓN RÍO YAQUE DEL NORTE

ESTACIONES		TIPO	AÑOS REGISTROS	OBSERVACIÓN	AÑOS TOTAL
CÓDIGO	NOMBRE				
0401	JARABACOA	E PLM-PLG	22-1968-1989	REEM: 0434	30
0402	TAVERA	E PLM-PLG	22-1968-1989		22
0403	S.J. DE LAS MATAS	R PLG	10-1968-1977		22
0404	SANTIAGO ISA	E PLM-PLG	21-1968-1988		22
0405	QUINIGUA	E PLM	18-1972-1989		22
0406	MAO	E PLM-PLG	22-1968-1989		30
0407	SANTIAGO RGUEZ	R PLM	11-1968-1978		50
0408	LA ANTONA	E PLM-PLG	22-1968-1989		50
0409	EL RÍO	E PLM-PLG	29-1961-1989		30
0410	MANABAO	E PLM-PLG	29-1961-1989		30
0411	MATA GRANDE	E PLM-PLG	29-1961-1989	REEM: 0450	24
0412	MAGUÁ MONCIÓN	E PLM-PLG	30-1960-1989		30
0421	CAÑEO	E PLM	21-1969-1989	MET	30
0422	JIMANAGAO	E PLM	22-1968-1989		30
0427	GUAYUBÍN -RINCÓN	E PLM	22-1968-1989		50
0455	VILLA VÁSQUEZ	R PLM	42-1939-1980		50
	CERRO DEL MEDIO	N PLG			
	PUEBLO NUEVO	N PLG			
	ALBANA	N PLG			
	MAYORAL	N PLG			
	ARROYO CAÑA	N PLG			
	LOS PINOS	N PLG			
	RESBALOSO	N PLG			
	RANCHO DEL COJO	N PLG			

E: Estación existente

R: Estación a instalar

N: Nueva Estación a instalar (Código a decidir). CLRPLU 15

PLM: Pluviómetro

PLG: Pluviógrafo

Los criterios utilizados para definir la red de base fueron su *densidad* según el criterio internacional (Figura 1), la *precisión* para evaluar el volumen de total de lluvia sobre la cuenca o región (margen de error entre un 5% y un 10%), el *coeficiente de irregularidad* y la *independencia entre estación*³⁰.

30 Densidad. Criterio internacional que es un límite inferior que debe ser respetado, y por lo que se procuró que todas las regiones del país se encuentren por encima de la zona de densidad razonable.

Los “**coeficientes de irregularidad**” invitan a decisiones sobre el número y al tipo de estaciones más adecuados en una región. Una irregularidad alta indica predominio de *lluvias convectivas v orográficas*, y requiere una malla de estaciones lo suficientemente densa para poder registrar los eventos meteorológico que ocurran en la región, aunque sea totalizando. Malla de pluviómetros, o totalizadores, respaldados por algunos pluviógrafos de control y seguridad.

Las interrelaciones estadísticas entre las estaciones de la red permiten *seleccionar las estaciones* con la mayor y mejor información meteorológica. Permiten saber si se pueden eliminar, o desplazar alguna de ellas y si se pueden completar los años faltantes de algunas estaciones utilizando técnicas de regresión. Y se encontró un *gradiente bastante uniforme de unos 10mm por 100m de elevación* (Cuadros 1 y 3) LLAMAS-Inf/ 6.

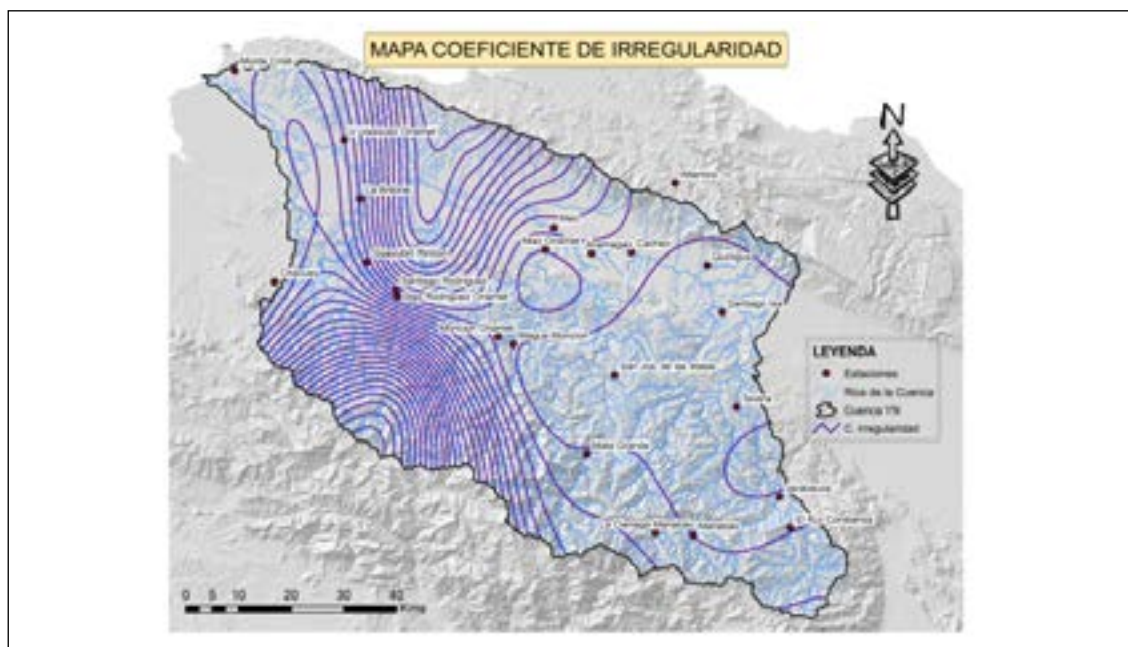


Fig. AP. 2.2.5 MAPA DE ISOLÍNEAS DEL COEFICIENTE DE IRREGULARIDAD

CARACTERÍSTICAS HIDRO-METEOROLÓGICAS PREDOMINANTES EN LA REGIÓN CUBIERTA POR LA RED DE ESTACIONES

Cuando prevalecen las **lluvias frontales** en la región, la red no requiere una estructura muy densa pero sí una larga serie de registros, que se compensan.

Las tormentas intensas, asociadas a "circulaciones convectivas", afectan a áreas más reducidas y la variación de sus precipitaciones es más espacial que cronológica. Esta situación, que es la que predomina en RD, exige una mayor densidad de estaciones para evitar que estos eventos pasen sin ser registrados.

La red ideal debería tener una serie de "estaciones de base", que registren las precipitaciones de continuo y con precisión (pluviógrafos). Y varias "estaciones secundarias" (pluviómetros o totalizadores) que complementen la información en situaciones específicas (valores extremos, p. ej.).

Ninguna región del mundo está sometida únicamente a frentes lluviosos o lluvias convectivas, por lo cual una red normal, como de la RD, debe considerar los dos casos. *Para establecer el esquema dominante* se consideró el "coeficiente de irregularidad", la predominancia de procesos irregulares (lluvias convectivas) sobre la regularidad meteorológica (frente de lluvias).

"Cuanto mayor sea el coeficiente de irregularidad más irregular es el esquema de lluvias y más cercanas deben de estar las estaciones con este coeficiente", para evitar que queden sin registro las lluvias concentradas en un área pequeña, pero que aportan un volumen considerable de lluvia anual. En estos casos conviene aumentar el número de pluviógrafos en las zonas de alto coeficiente de irregularidad (3 o más) y de pluviómetros o totalizadores en las regiones más "regulares"³¹.

En estos casos conviene aumentar el número de pluviógrafos en las zonas de alto coeficiente de irregularidad (tres o más) y de pluviómetros o totalizadores en las regiones más "regulares"³².

31 **Coefficiente** que se define como la relación entre la precipitación anual máxima durante los años de registro de una estación y la precipitación anual mínima durante el mismo período.

32 LLAMAS-Inf/ 7-8.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

Así en la cuenca del Yaque del Norte se instalaron nueve nuevas estaciones para completar la red existente: a) tres estaciones con pluviógrafo en la cuenca del valle central, b) tres estaciones en la margen derecha de la cuenca (un pluviógrafo y dos pluviómetros totalizadores, y c) tres estaciones en la margen izquierda de la cuenca (un pluviógrafo y dos pluviómetros totalizadores, o tres totalizadores)³³.

**CUADRO AP. 2.2.9
DENSIDAD ACTUAL Y FUTURA
DE LA CUENCA DEL YAQUE DEL NORTE**

Superficie:	7,044km ²
Población - Gran Total:	1,785,310
Densidad:	253 h/km ²
Número de estaciones:	
Red Original:	19 2.7/1,000km ²
Red completada:	28 4.0/1,000km ²
En ambos casos la red de la cuenca del Yaque del Norte tenía una densidad razonable ³⁴ .	

RECOMENDACIONES PARA FUTUROS ESTUDIOS

La existencia de *una red meteorológica de base*, coordinada con una *red hidrométrica* permite realizar un gran número de estudios a escala nacional para llevarlos al usuario bajo forma útil de trabajo para diseño. Entre los estudios más urgentes se recomendaron:

- 1 *Estudio de intensidad, duración y período de retorno de precipitaciones particulares.*
- 2 *Estudio hidrológico de valores extremos*, diferenciando los eventos a largo plazo, y los originados por causas puntuales y esporádicas (ciclones, tormentas tro-picales, etc.).
- 3 *Estudio general de lluvias y eventos pluviosos*, de la frecuencia de intensidades de lluvias y los aguaceros en todo el territorio nacional y a escala mensual.
- 4 *Estudio regional de transporte sólido y dinámica de suspensión.*
- 5 *Modelo general de precipitaciones.*
- 6 *Estudio de frecuencias de sequías probables*: Duración probable de sequías mensuales, y severidad y períodos de retorno³⁵.

ATLAS DE LLUVIAS MÁXIMAS EN LA RD

La importancia de conocer la intensidad y cantidad de las lluvias que caen en RD es que nos permite *elegir la mejor época* para realizar ciertas obras, y hacer una buena selección de los cultivos y de las prácticas agrícolas, mejorando la productividad y la conservación de los suelos.

Y permite un *mejor diseño y técnica* de las estructuras de control, conducción y evacuación del escurrimiento superficial en áreas rurales y urbanas³⁶.

33 LLAMAS-Inf/ 10-11.

34 CDE-III/ 3-12.

35 LLAMAS-Pla / 10-11 y LLAMAS-Inf./ 3.

36 Las **lluvias de mayor intensidad** son menos frecuentes y de menor duración, y sin embargo las que producen “más fallas de estructuras” y “mayor erosión”. De ahí la importancia de conocer las características de las intensidades de las lluvias en las diferentes regiones.

La *información sobre las lluvias intensas de RD*, relacionadas con otra información existente permite conocer la erosión probable de un área, y poder afrontarla a tiempo. Por eso se elaboraron *índices de la erosionabilidad* de los suelos de la RD en función de las lluvias y otros factores. (Una pérdida de suelo de 1cm de espesor lluvia puede suponer perder 150 Ton/Ha/año, 1.5 Ton/m).

Las **precipitaciones de diseño** son importantes para el técnico y el ingeniero. Recogidas en mapas permiten hacer un dimensionado seguro y económico de sus obras, eligiendo el tipo de lluvia más acorde con los criterios de seguridad requeridos por las mismas. La frecuencia e intensidad de las lluvias máximas son un dato requerido, hoy, para la planificación de obras a largo plazo³⁷.

Los **índices de la erosionabilidad de los suelos de la RD**, determinados en función de las lluvias y otros factores, permiten conocer la erosión probable y otros daños causados por las lluvias intensas, en regiones y épocas concretas, y permiten afrontarlos a tiempo y deben revisarse periódicamente para mejorar su confiabilidad³⁸.

CUADRO AP. 2.2.10
ESTACIONES ANALIZADAS CON INFORMACIÓN
PLUVIOGRÁFICA Y RESULTADOS (26) (EN "0")

CUADRO 1. Estaciones Analizadas con Información Pluviométrica y Resultados Obtenidos de R e Trax 60.								
Nombre de la Estación	Latitud G- M- S	Longitud G- M- S	Elevación m.s.n.m.	Lluvia Anual Promedio	R/N (1)	Trax 60 Minutos		
						Tr=2 (2)	Tr=10 (3)	Tr=50 (4)
<u>Cuenca del Yaque del Norte</u>				cm		cm/hr	cm/hr	cm/hr
0302 Don Miguel	19-30-10	71-40-40	45	155.0	(5)/4	1.3	2.9	4.3
0303 El Partido	19-29-20	71-33-20	200	142.4	1314/20	6.3	8.4	9.8
0401 Jarabacoa	19-07-50	70-38-00	900	153.7	457/12	3.4	4.6	5.4
0402 Tavera	19-17-00	70-43-05	300	125.1	229/6	3.4	3.9	6.3
0403 S.J. Matas	19-20-10	70-56-20	530	118.7	588/10	4.3	5.8	6.9
0404 Santiago	19-26-45	70-44-45	160	87.5	321/11	3.5	6.2	8.6
0406 Mao	19-35-17	71-03-05	90	71.5	275/12	3.8	4.8	5.6
0408 Antena	19-38-00	71-24-10	48	75.3	351/12	3.6	6.3	6.6
0409 El Río	18-58-50	70-37-40	1120	126.3	328/12	3.6	4.2	6.0
0410 Manabao	19-03-30	70-47-40	900	152.5	702/18	4.5	7.1	9.5
0411 Matagorda	19-12-30	70-59-15	1000	172.9	1208/19	4.5	9.2	14.0
0412 Mayas	19-23-13	71-07-17	220	111.0	866/18	5.2	7.2	8.8
<u>Santo Domingo</u>								
0486 Santo Domingo	18-29-	69-55	47	133.7	390/39	3.0	7.5	13.2

37 **Precipitación de diseño** es la lluvia que se asume como un parámetro para proyectar, generalmente obras hidráulicas. Se determina, por análisis estadístico, el tipo y cantidad de lluvia que puede caer durante la construcción de una obra o su vía útil, así como la escorrentía generada que puede afectar al proyecto, para programar su realización y tomar las medidas consiguientes.

Los **mapas de precipitaciones de diseño** cubren un amplio espectro de posibilidades, tanto de duración como de períodos de retorno, y son una *herramienta indispensable* para todos los técnicos, gestores y usuarios, involucrados en la concepción, construcción o manejo de obras hidráulicas. **DTA/ 1-3,9.**

38 **Erosionabilidad.** Una pérdida de 1cm de espesor de suelo por lluvia supone perder 150 Ton/Ha/año, 1.5ton/m.

Mejorar su confiabilidad, dada la gran *heterogeneidad del número de años de registro* en los pluviómetros (de 3 a 39 años), cuando el criterio es un período mínimo de 20 años. Un período menor no garantiza el haber registrado ciertas características del clima que se dan menos frecuentemente, induciendo a conclusiones erróneas sobre el clima del lugar. La confiabilidad de las conclusiones hechas, en base a los datos meteorológicos, es tanto mayor cuanto mayor es el número de los años de observaciones.

Dada la *discontinuidad de datos*, por fallas en el funcionamiento del pluviógrafo, o por descuido del observado, lo que obliga en algunas estaciones a estimarlos usando correlaciones, que no siempre eran buenas, y que incluso en las buenas tenían sus limitaciones (**Cuadros 1 y 2**). **DTA 22-2.**

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

CUADRO AP. 2.2.11
ESTACIONES ANALIZADAS CON INFORMACIÓN
PLUVIOGRÁFICA Y RESULTADOS (26) (EN "0")

Nombre de la Estación	Latitud G- N- S	Longitud G- N- O	Elevación m.s.n.m.	Lluvia Anual Promedio	P/N	Inex 60 Minutos			
						TX=2	TX=10	TX=50	
					(1)	(2)	(3)	(4)	
<u>Cuenca del Yana</u>						cm	cm/hr	cm/hr	cm/hr
1801 S. F. Macocha	19-17-10	70-14-25	110	143.6	407/11	3.2	5.1	6.9	
1802 Juna, Tarma	18-54-00	70-23-10	178	205.5	834/6	4.1	12.2	20.5	
1803 Lirón del Yana	19-09-10	69-49-10	8	162.1	789/11	4.9	10.5	16.5	
1804 Quemados	18-53-30	70-27-30	250	219.6	1245/15	5.8	9.6	12.8	
1806 Hatillo	18-56-50	70-15-10	80	217.2	1315/3	5.0	8.8	12.3	
<u>Este del País</u>									
2401 Higuay	18-37-20	68-42-05	90	134.6	369/9	3.9	8.0	12.5	
3001 El Seybo	18-45-55	69-02-40	100	131.4	651/11	4.8	7.2	9.2	
<u>Cuenca de Nizao</u>									
3801 Nizao	18-36-53	70-27-07	580	207.0	422/11	3.8	6.3	8.2	
3802 Valdesia	18-24-30	70-16-50	160	151.1	1089/17	5.1	11.5	16.1	
3804 La Laguna	18-32-30	70-24-45	1170	101.6	453/11	2.5	4.5	9.3	
<u>Área</u>									
4601 Peralta	18-35-00	70-46-30	500	129.8	1223/7	5.7	7.5	8.8	
4602 Resolí	18-27-45	70-43-55	140	53.3	22/9	2.88	2.95	4.8	

CUADRO AP. 2.2.12
ESTACIONES ANALIZADAS CON INFORMACIÓN
PLUVIOGRÁFICA Y RESULTADOS (26) (EN "0")

Nombre de la Estación	Latitud G- N- S	Longitud G- N- O	Elevación m.s.n.m.	Lluvia Anual Promedio	P/N	Inex 60 Minutos			
						TX=2	TX=10	TX=50	
					(1)	(2)	(3)	(4)	
						cm	cm/hr	cm/hr	cm/hr
<u>Cuenca del Yana del Sur</u>									
4903	S. J. Mayana	18-45-27	71-09-02	378	74.6	326/5	2.6	4.0	5.1
4904	Peñón	18-17-47	71-11-16	4	49.2	379/6	3.0	5.5	9.0
4906	La Ciénaga	19-04-54	71-17-36	861	102.7	729/15	4.5	5.8	6.0
4907	La Florida	18-49-40	71-05-28	520	119.3	1095/19	5.8	9.4	12.7
<u>Sur-Oeste</u>									
5301	Noyba	18-26-17	71-26-15	100	54.5	155/5	1.8	3.5	5.3
5302	P. Encendido	18-19-15	71-34-20	400	67.8	134/5	2.4	3.2	3.8
5312	Angatura	18-16-12	71-23-46	35	54.3	432/4	4.1	5.4	6.5
<u>Cuenca del Artillerista</u>									
5401	Matayaya	18-53-00	71-35-18	430	70.1	614/5	3.0	4.6	5.1

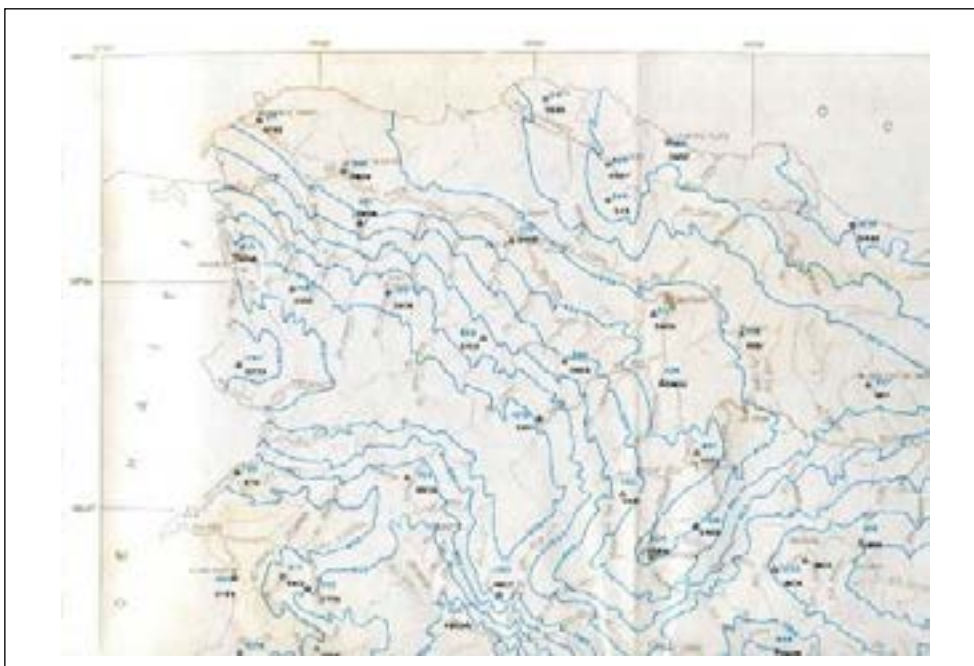


Fig. AP. 2.2.6 MAPA DE ISOEROSIVIDAD DE LAS LLUVIAS EN LA RD

Fuente: SURENA, 1982.

Intensidades Máximas y Erosividad de las Lluvias en la República Dominicana.

El análisis regional de las lluvias máximas ayuda al diseño e implementación de proyectos de ingeniería, con un riesgo admisible fijado de antemano. En proyectos en los que las precipitaciones son un elemento determinante, es importante prever la probabilidad de lluvias entorpecedoras o destructivas. Prever su intensidad, duración y recurrencia, para mejor programar el calendario de la realización de las obras y las características de los mismos.

Por ello los *mapas de precipitaciones máximas para diseño* son una herramienta de trabajo para muchos sectores de la economía, la industria, y la protección y conservación de los recursos hídricos³⁹.

Pluviómetros con datos ajustados por coeficiente de transferencia de un pluviógrafo (etapa 5)⁴⁰

39 **Los mapas de lluvias máximas** se elaboraron en base a una red óptima, fiable, compuesta de: 1) 13 pluviógrafos con registros de 10 a 52 años y 104 pluviómetros con una longitud de 10-52 años de registros diarios.

En la RD existe una red pluviográfica, y otra pluviométrica más densa, del SMN y el INDRHI, principalmente. La red óptima utilizada fue el resultado de un estudio de investigación anterior. Antes de comenzar el “estudio de intensidad-duración-frecuencia de las precipitaciones” se analizó la red pluviográfica y pluviométrica existente, uniformizando la información, completando por interpolación los registros que faltaban, y extrapolando las series de longitudes diversas.

LLAMAS-At/ 8.

40 **Pluviómetros y coeficiente de transferencia de un pluviógrafo.** El *coeficiente de transferencia* es la transformación del total de lluvia acumulada en un pluviómetro a intensidades de lluvia, como las que recogen los pluviógrafos. Después que se tiene el “coeficiente de transferencia” de un pluviógrafo de una determinada zona se dibujan los polígonos de Thiessen, y los registros de los pluviómetros ubicados dentro del polígono que tiene como centro el pluviógrafo mencionado son ajustados por el coeficiente de ese pluviógrafo.

DTA/8

CUADRO AP. 2.2.13
PERÍODOS MÁS UTILIZADOS SEGÚN TIPO DE OBRA⁴¹

Período de retorno	Tipo de obra
2-10	Obras menores sin riesgo de vidas humanas. Daños poco importantes.
10-25	Sistemas de riego.
25-50	Colectores de aguas pluviales para pequeñas poblaciones.
50-100	Pequeñas presas con daños potenciales elevados, sin pérdidas humanas.
500-1,000	Grandes presas. Aliviaderos para crecidas extraordinarias con posibles pérdidas de vidas.
10,000	Grandes obras, cuya destrucción puede acarrear catástrofes nacionales.

EJEMPLOS DE UTILIZACIÓN DE LOS MAPAS⁴²

Según el "Estudio regional de precipitaciones"

Ejemplo 1. En San Juan de la Maguana, "se desea construir una presa que resista la crecida de una precipitación de seis horas de duración, con un período de retomo de 25 años. ¿Cuál sería la precipitación prevista de diseño?"

Solución: Ubicar en el Atlas el mapa correspondiente (N° 114), que indica una precipitación de diseño en San Juan de 90mm.

Ejemplo 2. En San José de las Matas, "se quiere construir un ataguía para la construcción de una presa, para la cual se considera una precipitación de seis horas y un período de retorno de diez años. ¿Cuál sería la mejor época para construirla?"

Solución: Se identifican en el Atlas varios mapas al respecto (N° 21, 44, 67 y 90), que muestran los valores promedio de lluvia para las 4 estaciones, indicando que la precipitación es menor en Invierno, con 35 mm⁴³.

Modelo de frecuencias pluviométricas⁴⁴

Ejemplo 1. ¿Cual será la probabilidad de tener cinco aguaceros en la estación de El Sisal durante el mes de julio? **Solución:** 0.16

Ejemplo 2. ¿Cual será la probabilidad de tener al menos diez aguaceros en la estación de El Sisal durante el mes de julio? **Solución:** 0.0085

Ejemplo 3. ¿Cual será la probabilidad de tener los quince primeros días de julio completamente secos en la estación de El Sisal? **Solución:** 0.142

Ejemplo 4. ¿Cual sería la probabilidad de tener como máximo, 50mm de precipitación en los ocho primeros días de mayo, en el Sisal? **Solución:** 0.92⁴⁵.

41 **Períodos más utilizados según tipo de obra.** Los *periodos de retorno* presentados en el cuadro son los usuales para los tipos de obras enumerados en el mismo.

La *determinación de la lluvia de diseño* de un sistema de riego, presa, u otro tipo de obras debe hacer un análisis estadístico de las lluvias máximas registradas en el área de los proyectos a realizar.

42 **El estudio regional de precipitaciones** ayuda al diseño e implementación de proyectos de ingeniería, con un riesgo admisible fijado de antemano.

43 **LLAMAS-At/ 9.**

44 **El modelo de frecuencias pluviométricas** es más adecuado para una *gestión cronológica* de los recursos hídricos, y para la *predicción* de eventos meteorológicos en tiempo real. Modelo que analiza el origen y la forma de los eventos pluviográficos definiendo unas funciones de frecuencias más en consonancia con el fenómeno de la lluvia. **LLAMAS-At/ 10.**

45 **LLAMAS-At/11-12.**

APÉNDICE 2.3

RED HIDROMÉTRICA DE LA RD

HIDROMETRÍA

El **fin de la red hidrométrica** es obtener recoger los datos de descargas, para estudios de irrigación, agua potable e industrial, almacenamiento de agua, generación hidroeléctrica, control de avenidas, contaminación y otros.

De ahí su *importancia*, ya que incide en el aumento de la producción de alimentos, el desarrollo hidroeléctrico, la prevención de daños por inundaciones y la utilización racional y productiva de los recursos hídricos en su zona de influencia. Zonas que incluyen extensos distritos de riego, acueductos, agroindustrias y otros aspectos ligados al desarrollo del país.

Los **elementos hidrométricos** que se tienen en cuenta son el nivel del agua, el caudal, el transporte de sedimentos, la calidad del agua (temperatura, salinidad, pH, metales), agua subterránea, etc¹.

Las **estaciones** donde se recogen los datos son de distinto tipo: *completas*, que miden todos los elementos. *De aforo*, con estructura para hacer aforos durante crecidas; *limnimétricas*, que miden niveles del agua y aforos por vadeo. Y *especiales*, para fines específicos.

Por otra parte las estaciones se clasifican en *manuales*, que tienen sólo una escala hidrométrica (mira) y las *automáticas*. Si estas últimas tienen interrupciones en su registro debe leerse el nivel de agua por la escala hidrométrica, y si dura la avería se debe pedir otro aparato².

La **lectura** de los datos en la *escala hidrométrica (o mira)*, se hace normalmente por lo menos dos veces al día, a las 7am y 5pm preferiblemente. Y en caso de crecida deben hacerse seis lecturas (cuatro en crecida y dos en bajada)³.

Y la de los *aforos* se hace generalmente con molinetes, aunque a veces se usan flotadores. Y

1 **Elementos hidrométricos** principales, claves para el manejo de las cuencas y el dimensionamiento de las obras hidráulicas de todo tipo.

Caudal: Cantidad de agua disponible para riego, consumo doméstico e industrial. Volumen de agua que en la unidad de tiempo cruza por una sección de control en un curso de agua. *Avenida máxima* que puede producirse.

Calidad del agua para el consumo humano y de riego. Control de la contaminación. Planear la lixiviación, construcción.

Sedimentos. Determinar la erosión y degradación de la cuenca y el perfil de equilibrio de sus ríos. Calcular las obra de decantación en la toma de los canales y el tipo de maquinaria y las estructuras necesarias para su limpieza. Determinar el embalse muerto de las presas y la necesidad de reforestación y otras medidas en la cuenca para disminuir su tasa de sedimentación. **FEBRILLET-MARTÍNEZ S.113.**

2 **Estaciones “automáticas”.** Estaciones con registro, registran los niveles de agua y granean su lectura. El *limnógrafo “a tambor”*, que es en una hoja y el registro “a banda”, que es en un roll, son análogos.

3 **Lectura de la escala hidrométrica (mira).** Para determinar el caudal se mide el nivel del agua y se le aplica la curva de calibración para correlacionar ambos elementos. De ahí que para medir el caudal sea básico contar con un correcto nivel del agua, ya que en base a la escala, debe tener conexión libre con el agua, y se debe comprobar periódicamente si todas sus partes están fijas en su lugar.

La escala debe leerse desde donde pueda observarse bien el nivel del agua. Y si hay oscilación del nivel del agua se debe esperar hasta que el nivel del agua se tranquilice, y si no termina la oscilación habrá que calcular el valor promedio del nivel del agua Y se anotará en el libro de la estación el nivel del agua leído, con su fecha y hora, así como observaciones e influencias sobre el nivel del agua (oleaje, p.ej.). **REICHE-Reco 1-8.**

hay seis brigadas de aforo para hacer un aforo mensual en todas las estaciones, lo que frecuentemente no puede cumplirse por falta de vehículo. Y la lectura de las miras como la de los aforos se registra en un formulario, para su posterior calibración⁴.

Sólo **observaciones bien hechas y un buen mantenimiento de las estaciones** pueden garantizar *datos hidrométricos confiables y continuos*, de caudales y niveles de agua. El mantenimiento básico está a cargo del observador y el general, del INDRHI; quien debe supervisar las estaciones una vez al mes⁵.

HISTORIA DE LA RED HIDROMÉTRICA RD

1913. Se inicia la medición de los caudales alrededor de este año, instalándose las primeras estaciones hidrométricas en la cuenca del *Yaque del Norte* para aprovechar mejor los proyectos de riego y acueductos.

1936. El *Ayuntamiento de Santiago* instala miras limnéticas y aforos sistemáticos en el *río Yaque del Norte*, motivado por los trabajos irrigación y conservación del Ing. Luna.

1946. Llega la *Grenada Company* al país e instala la primera red de observaciones hidrométricas en el *Yaque del Norte*, iniciando su medición en forma más sistemática. Su objetivo asegurar el riego para sus plantaciones y estudiar la posibilidad de una presa en López-Angostura Y en 1948 *La Standard Fruit* inicia la medición de los caudales del Bajo Yuna.

1950. Se inicia la *Red Hidrológica Nacional*, como “Oficina de Hidrología y Riego”, adscrita a la Secretaría de Obras Públicas y Comunicaciones. Se instalaron algunas estaciones a petición de algunas instituciones estatales. Y estuvo adscrita a cinco Secretarías diferentes, en alguna varias veces (1953-1964), que le dieron poca atención en general.

1954. Se empiezan a *recopilar datos hidrológicos en forma sistemática*, cuando la oficina depende de la Secretaría de Agricultura (SEA). Los datos estadísticos de las mismas no son continuos⁶.

1965. Se crea el *Instituto Dominicano de Recursos Hidráulicos* (INDRHI), organismo autónomo responsable del desarrollo de los recursos hídricos de la RD (Ley N° 6, del 8 de septiembre de 1965). Su división de hidrología quedó encargada de la recopilación, procesamiento y análisis de la información hidrológica con carácter oficial para todo el país. Y, a partir de ese año, recibió ayuda técnica y financiera de varias agencias internacionales (PNXJD, GTZ y AID, entre otras) para la organización y mejoramiento de las redes hidrometeorológicas (1965-1990).

1967. Se inicia su expansión y se instalan *los primeros limnógrafos automáticos*, para registro de los niveles de agua, con ayuda técnica de la SOGREAH, concentrándolos en los ríos Yaque del Norte y Yaque del Sur. Y se inició la *primera red climática para fines hidrológicos*.

1970. Se *amplía la red hidrométrica y climática*. Y la división tiene su primer asesor internacional dentro de un proyecto con el PNUD (US\$ 1.5M). Y en 1972 se inicia la instalación de *estaciones hidrométricas en canales de riego y el centro de cómputos* de la división.

1979. Se inicia el proyecto “**Balance y desarrollo integral de los recursos hidráulicos de la región suroeste**” (US\$ 1.6M). *Los ciclones David y Federico* destruyeron un 70% de las estaciones, *desmantelando* el crecimiento constante de la red, y se inició su reconstrucción con financiamiento del PNUD-CEE-GORD (US\$ 2.3M), y asesoría de la OMM.

4 Seis brigadas de aforo con base en Mao, Jánico, La Vega, San Juan de la Maguana, Barahona y Santo Domingo.

5 Las reglas más importantes para el manejo de una estación hidrométrica están en “Instrucciones para el lector de la escala hidrométrica”, “Instrucciones para el observador de la estación hidrométrica” y “Libro básico de las estaciones hidrométricas”. Se ha sugerido que la División de Hidrología debería tener la historia de cada una de las estaciones hidrométricas. Su contenido puede verse en SALAS / 38-39.

FEBRILLET-MARTÍNEZ S./ 4 y 12, SALAS/ 26 y OMM/22.

6 En 1953 se realiza el *Informe preliminar acerca de la Explotación de los Recursos Hidráulicos de la Rep. Dominicana* por el Ing. W. Alan Laplin, de la División de Agricultura y Recursos Naturales del Instituto de Asuntos Interamericanos.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

1981. Se inicia el “Plan Nacional de Investigación, Aprovechamiento y Control de las Aguas Subterráneas” (PLANIACAS), con una donación del US\$ 1.1M y asesoría de la Tahal. Y entra en operación el banco de datos de la división.

1982. Se inicia el proyecto “Fortalecimiento de las actividades hidrometeorológicas y desarrollo de un sistema operativo de previsión hidrológica” (US\$ 1.2M), con ayuda del PNUD y asesoría de la OMM. Y un “sistema de previsión hidrológica en tiempo real” (Siphidro) para las cuencas de las presas de Sabaneta y Sabana Yegua.

1984. Se inicia el proyecto “Investigación ambiental con isótopos”, con donación del Gob. Alemán y asesoría de la OIEA, para determinar la estabilidad del caudal kárstico del río Sonador (Yásica), y su posible aprovechamiento hidroeléctrico. Así como las zonas de recarga y fluencia del agua kárstica de la región suroeste.

1985. Entró en operación la red para pronóstico en tiempo real, en las cuencas de los ríos Yaque del Sur y San Juan, usando el satélite geoestacionario (GOES). Lo que permite la predicción hidrológica, la previsión de crecidas y el manejo de los recursos hidráulicos de las mismas en tiempo real. Se prepararon los modelos de operación en tiempo real de los embalses de Sabaneta y Sabana Yegua, y se elaboró el esquema para la operación y predicción en tiempo real, vía satélite, de la cuenca del río Nizao y la presa de Valdesia⁷.

La División de Hidrología del INDRHI ha experimentado un fuerte crecimiento en los últimos años, como efecto de su inserción en una institución que es usuario directo de sus actividades, más fuerte económicamente, y urgida de obtener los datos que requiere para el diseño y operación de sus obras⁸.

CUADRO AP. 2.3.1
ESTACIONES DE AFORO DE LA CUENCA DEL YAQUE DEL NORTE (1956)⁹

Nº	ESTACIÓN	RÍO	PERÍODO FUNCIONAMIENTO	ORGANISMO
1	Castañuela	Yaque del Norte	Mar. 1946 - Jul. 1953	Grenada Co.
2	Barca Guayubín	Yaque del Norte	Mar. 1946 - Jul. 1953	Grenada Co.
3	Puente San Rafael	Yaque del Norte	Feb. 1946 - Jun. 1955	Grenada Co.
4	Puente Yaque	Yaque del Norte	Ene. 1937 - Jul. 1953	Aytot. Sgo.
5	Palo Verde	Yaque del Norte	Feb. 1946 - Ago. 1955	Grenada Co.
6	Las Chorreras	Mao	Ene. 1949 - Feb. 1955	Grenada Co.
7	Guayubín	Guayubín	Feb. 1946 - Ene. 1947	Grenada Co.
8	Barca Jinamagao	Yaque del Norte	Oct. 1948 - Jul. 1953	Grenada Co.
9	Santiago	Yaque del Norte	Feb. 1946 - Sep. 1955	Grenada Co.
10	Barca Bermúdez	Yaque del Norte	Mar. 1946 - Oct. 1947	Grenada Co.
11	La Cana	Yaque del Norte	Sep. 1952 - Sep. 1955	Grenada Co.
12	Julián	Yaque del Norte	Feb. 1946 - Sep. 1950	Grenada Co.
13	Jánico	Bao	Mar. 1953 - Jul. 1955	Grenada Co.
14	Pinalito	Jagua	Mar. 1953 - Dic. 1954	Grenada Co.
15	Jarabacoa	Yaque del Norte	Abr. 1953 - May. 1955	Grenada Co.

Fuente: MENDAR-Eh.

⁷ **Red para Pronóstico en tiempo real, en la cuenca del río Yaque del Sur.** Su instalación se inició en 1981, con asesoría de la OMM. Para mayor información sobre la División de Hidrología del INDRHI, sus actividades, presupuestos, secretarías a las que estuvo incorporado, nombres que tuvo, responsables de la misma, ver **FEBRILLET-Hidro/2-9**.

⁸ **FEBRILLET-Hidro/ 2, 5-13 NOUVELOT-RASSAM.90/ 4-6 y OMM/2,4, 25.**

⁹ **Mapa de ubicación de las estaciones de aforo (1:400,000) en MENDAR-Eh., Anexo 2.**



Fig. AP. 2.3.1 UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE AFORO

CUADRO AP. 2.3.2
ESTACIONES HIDROMÉTRICAS EN LA CUENCA DEL YAQUE DEL NORTE

ESTACIÓN	RÍO	LIMNIMETRÍA	AFOROS
MANABAO	Yaque del Norte	1963 - 1966	Inexplotables
PINAR QUEMAO	Yaque del Norte	1955 - 1968	Inexplotables
HATO VIEJO	Jimenoa	1955 - 1966	Inexplotables
BAITOA	Yaque del Norte	1955 - 1966	Malos
BAO	Bao	1955 - 1966	Bueno de 0 a 10m ³
PINALITO	Jagua	1956 - 1968	Mediocre
LÓPEZ	Yaque del Norte	1961 y 1964	Inexplotables
SANTIAGO	Yaque del Norte	1956 - 1966	Debajo de 100m ³ , regulares
POTRERO	Amina	1956 - 1965	Inexplotables
JINAMAGAO	Yaque del Norte	1960 - 1966	Buenos de 0 a 20m ³
CHORRERA	Mao	1958 - 1966	Inexplotables
PTE SAN RAFAEL	Yaque del Norte	1959 - 1966	Inexplotables
RINCÓN	Guayubín	1959 - 1966	Inexplotables
LA ANTONA	Guayubín	1956- 1966	Inexplotables
LA CANA	Yaque del Norte	Desconocida	Inexplotables
PALO VERDE	Yaque del Norte	1960- 1966	Bueno de 0 a 25m ³ , por encima de 25m ³ inexplotables
TAVERA	Yaque del Norte	Abr 1964-1968	Inexplotables
GUAYUBÍN	Yaque del Norte	1955-1966 No continua	Mediocre de 10 a 20m ³ , luego inexplotable
CONSTANZA	Pinar Bonito	1964- ?	Inexplotables

Fuente: SOGREA II (1968)

DIVISIÓN DE HIDROLOGÍA INDRHI

Sus **funciones básicas** son el registro, transmisión, procesamiento, almacenamiento, publicación y análisis de los datos hidrológicos y climatológicos de las corrientes superficiales y subterráneas del país. Y realizar los *estudios hidrológicos específicos que requieren la planificación, construcción y operación de las obras destinadas al uso, desarrollo y conservación de los recursos hídricos del país*¹⁰.

Los **datos hidrológicos** que recoge son los *climáticos e hidrométricos*, tanto en cantidad como en calidad, de los ríos, lagos, embalses y otros medios de almacenamiento y conducción de aguas superficial y subterránea.

El **análisis de los datos** depende de lo que se necesite para la planificación, diseño y operación a nivel nacional, regional o local de los sistemas de recursos hidráulicos del país. Así como para ayudar a la predicción y evaluación de avenidas y sequías¹¹.

CUADRO AP. 2.3.3 RED HIDROLÓGICA DE 1985

La red hidrológica de RD (1985) constaba de

156 estaciones hidrométricas, con 66 limnógrafos,
126 estaciones pluviométricas de las cuales 72 tienen pluviógrafos y 37 son climáticas. Además,
619 pozos de observación de agua subterránea y
979 estaciones para medición de calidad de agua y sedimentación en ríos, manantiales¹².

CONFIGURACIÓN DE LA RED ACTUAL (1990)

La red actual está compuesta de 126 estaciones hidrométricas, con escala Limnimétrica (mira). De las que *tenían limnógrafo unas 40 estaciones (un 30%)*, siendo éstas las que podían dar datos satisfactorios¹³.

Las estaciones se clasifican en tres tipos, según el equipo de que disponen. Estaciones de:

1° orden. Con *escalas limnimétricas (miras), limnógrafo y estructura para aforos durante las crecidas*.

2° orden. Con *miras y limnógrafo*. Durante las crecidas hacen los aforos con el método del flotador.

3° orden. Equipadas sólo de *escalas limnimétricas*. Cuad, Fotos/Dib, Mapa.

Y desde el huracán David un 87% de las estaciones no están equipadas para realizar aforos completos, incluyendo aguas medias y crecidas. Huracanes que son una de las razones por las que muchas estaciones no tienen registros largos, sin fallas de observaciones.

10 **Investigaciones solicitadas** por otros departamentos del INDRHI, por otras secciones de la división, y las programadas por la propia sección de investigación. P.ej. "Frecuencia de descargas máximas del río Nizao", que puede interesar al proyecto Nizao. Un "Programa para completar datos perdidos, por correlación simple" para dar apoyo a la sección de hidrometeorología. Y "Regionalización de descargas máximas en la RD", dentro de investigaciones de la propia sección.

Otras líneas de investigación pueden verse en SALAS/ 7-8.

11 **FEBRILLET-Hidro/ 9. FEBRILLET-MARTÍNEZ S./ 1 y SALAS/ 7.**

12 **FEBRILLET-Ins/ 2.**

13 **40 estaciones equipadas con limnógrafo.** Número que parecía adecuado ya que RD, tiene numerosas cuencas pequeñas y medianas, con registros hidrológicos cortos, y ponerse como condición tener un *registro de quince años de duración*, por lo menos. Se recomendó quince años, y no diez, ya que la mayoría de las variables hidrológicas tenían distribuciones estadísticas disimétricas, incluso en los módulos anuales.

Y se recomendó evaluar la confiabilidad de la información proporcionada por la red actual. Los *datos recogidos* deben permitir una estimación suficientemente precisa del recurso hídrico y sus variaciones (caudales medios, estiajes y crecidas), lo que requiere unos largos registros de buena calidad. **NOUVELOT-88/ 3.**

De las 126 estaciones hidrométricas sólo un 30% tenía limnógrafo y un 55% tenía pluviómetro.

Mientras no se repone el equipo de aforo, se recomendó usar botes plegables de fácil transportación, hacer mediciones químicas del caudal y aprovechar las estaciones con “sistema de teletransmisión por satélite” para programar los aforos y racionalizar la operación de la red. Y en condiciones excepcionales, se pueden hacer mediciones sencillas pero muy útiles con flotadores.

CUADRO AP. 2.3.4
SITUACIÓN DE LA RED HIDROMÉTRICA
ANTES Y DESPUÉS DEL HURACÁN DAVID

Estaciones	Antes de David	Después de David
Con puente	20%	3%
Con teleférico	40%	10%

Sólo los datos de caudales de estiaje eran relativamente confiables, en la gran mayoría de las estaciones. Y para subsanar esa deficiencia el INDRHI realiza unas doce mediciones mínimas anuales de caudal, en los principales “*puntos de aforo*” en todo el país. Información que es base para estimar, por interpolación, los caudales de lugares de posible aprovechamiento hídrico.

Había una fuerte heterogeneidad en la distribución espacial de las estaciones de la red. *El INDRHI* dividió al país en 54 cuencas, o zonas operativas, incluidas las llanuras costeras. Y de ellas sólo tenían estaciones hidrométricas un 57 % de las mismas (31 cuencas)

Y su densidad es muy heterogénea. Había cuencas superpobladas (Yaque del Norte y Yaque del Sur, p.ej.), mientras que otras carecían de observaciones (zonas orientales y meridionales). Y las estaciones sólo se habían instalado en *ríos con caudales permanentes*, desconociéndose las características de los ríos con régimen esporádico.

De las estaciones históricas, establecidas a finales de los 60 para medir caudales naturales sólo quedan 27 estaciones, casi todas ubicadas en las partes más escarpadas del país. Y de ellas sólo ocho están en operación y tienen registros de más de diez años de observaciones¹⁴.

EVOLUCIÓN DE LA RED

Históricamente. Las primeras estaciones hidrométricas fueron instaladas para servir a necesidades específicas (riego y producción hidroeléctrica), al igual que en muchos países del mundo, llegándose a contar así unos 500 puntos hidrométricos en el país.

Esta primera etapa del desarrollo de una red hidrométrica suele constituir un *conjunto de estaciones con fines prácticos y específicos, no coordinadas* en cuanto a ubicación, tipo de observaciones y mediciones. Unas tenían solo una mira, otras limnógrafo y otras eran sólo puntos de aforos. Algunas tenían observación permanente, y otras puntuales. Unas medían todos los parámetros, niveles y caudales y otras sólo las aguas bajas (estiajes), mientras que otras eran sólo para las crecidas, o para la temporada de riego.

La red hidrométrica de la RD (1990) sólo servía para satisfacer *necesidades concretas de operación y no podían ser utilizadas para un desarrollo integral*, en la mayor parte de sus estaciones. Por lo que se recomendó incorporar en el diseño de la red básica sólo aquellas estaciones que registran continuamente el régimen natural de los ríos. Los *criterios para evaluar el nivel de una red* son tres: la densidad de la red (estaciones/km²), su distribución en el espacio, y la duración de los registros de sus observaciones principalmente¹⁵.

14 NOUVELOT-RASSAM.90/ 7-8 y NOUVELOT-88/ 9-10.

15 NOUVELOT-88/ 1-3.

De ahí que se viera **la necesidad de tener una red estructurada más eficiente**, con estaciones permanentes de observaciones y registros, largos y confiables, dado que *la precisión de los datos hidrométricos* estadísticos está estrechamente ligada al número y validez de los datos disponibles.

Red que tiene *dos tipos de estaciones*:

- Las “estaciones básicas” (o red patrimonial), que son operadas permanentemente a fin de suministrar datos para estudios estadísticos, y las informaciones necesarias para el desarrollo de los recursos hídricos del país, incluido el manejo de las cuencas y los estudios estadísticos.
- Y las estaciones “secundarias” con finalidades específicas, que generalmente se cierran al fin de los estudios¹⁶.

DISEÑO DE LA RED HIDROMÉTRICA BÁSICA DE LA RD

El **establecimiento de una red hidrológica básica**, *necesaria para la planificación futura de los recursos hídricos de la RD*, fue el objetivo de un proyecto del PNUD-OMM (1988-89), para ayudar al fortalecimiento institucional de la División de Hidrología del INDRHI¹⁷.

Se necesitan datos hidrométricos para la distribución del riego, la operación de embalses, previsión hidroeléctrica, pronósticos de las crecidas y sus niveles, etc.

Su objetivo es *medir la disponibilidad de los recursos hidráulicos superficiales*, su distribución geográfica y su variabilidad en el tiempo. Así como la magnitud y frecuencia de los períodos de crecidas y estiajes. Y ofrecer información que ayude a la evaluación, desarrollo y administración de los recursos hidráulicos del país, y de los recursos naturales relacionados con el agua.

Para ello la red hidrométrica debe tener una *densidad y distribución* tal que, por la interpolación de datos de diferentes estaciones, sea posible determinar con suficiente precisión, las características (promedio y extremo) de los elementos hidrológicos básicos en cualquier parte de la RD¹⁸.

Y el emplazamiento de sus estaciones es muy importante para la confiabilidad y precisión de la misma, ya que debe poder recoger las principales particularidades de los regímenes hidrológicos de las principales cuencas, al menos por una estación que los represente, y de la cual pueda transferirse su información hacia otros sitios.

Las *variables a observar* dependen de las necesidades actuales y potenciales del desarrollo de la región a que sirve la red, y en RD se indicó el “caudal” como la variable prioritaria, dada la necesidad de desarrollar los sistemas de riego y el aprovechamiento hidroeléctrico. En esta etapa *los datos considerados* son sólo los datos de los niveles limnimétricos y descargas de los ríos, que son básicos para resolver la mayoría de los problemas de operación y diseño hidrológico¹⁹.

Para la formulación de planes específicos de desarrollo hidráulico es *indispensable proveer el marco básico* para los mismos, aunque *no es suficiente*²⁰.

16 **Es criterio fundamental que la red básica cubra la totalidad de las diferentes regiones hidrológicas del país**, sin fallas patentes y sin redundancias demasiado estrechas.

Las “**estaciones básicas**” incluyen estaciones primarias, fijas y permanentes. Y estaciones secundarias, cuya ubicación puede cambiar cuando se logran los resultados pretendidos.

17 Proyecto que supuso hacer un *análisis* de la “situación de la red hidrológica nacional”, de la “demanda actual y futura de información hidrológica básica” y de las “prácticas de operación de la red hidrológica nacional”. Y en base a eso hacer el diseño de la “red hidrológica básica de la RD”, e implementar la primera etapa de la misma, y el diseño de las “políticas de evaluación de la red hidrológica básica”.

La **meta era aplicar la información hidrológica a la conservación de cuencas hidrográficas**. Y para ello mejorar el procesamiento, análisis y archivo de datos hidrológicos e hidrometeorológico, y la operación de un banco de datos meteorológicos e hidrológicos. **ROUSEL/ 1,4 y OMM/ 2, 6.**

18 **La densidad y distribución de las estaciones, y la longitud de los registros**, *dependen* de la variabilidad de los elementos hidrológicos, en el espacio y el tiempo. Elementos que se definen a partir de un conjunto de estaciones.

La **planificación hidrométrica se hace en tres tiempos**: 1) Identificación de las condiciones físico-climáticas que influyen en el escurrimiento, 2) comparación con las realidades regionales, y 3) elaboración del plano de localización de las estaciones tomando en cuenta los proyectos de aprovechamiento del agua en las diferentes cuencas. La comparación entre la ubicación deseable de las estaciones y la de la red actual se hace al fin del proceso, y en cualquier caso no se deben cerrar estaciones con más de 15 años de datos fiables. **NOUVELOT-RASSAM.90/ 3 y NOUVELOT-88/ 5.**

19 Los **datos** de caudales se derivan de registros continuos de niveles y de mediciones ocasionales de los caudales. Los dos tipos de datos *son inseparables* y deben ser recogidos y publicados conjuntamente.

20 **NOUVELOT-RASS AM.90/ 2, 9, 23.**

La red hidrométrica básica total de RD, según la densidad mínima de la OMM, debería tener entre 140 y 10 estaciones, según se implemente la densidad “mínima óptima” o la “mínima mínima”.

En las regiones llanas (40% del país) debería haber entre 40-3 estaciones hidrométricas. Y en las regiones montañosas (el otro 60% del país), entre 100 y 7 y estaciones, según se implemente la densidad mínima “óptima” o la “mínima” de la OMM²¹.

CUADRO AP. 2.3.5
DENSIDAD MÍNIMA DE LAS REDES HIDROLÓGICAS
EN REGIONES TROPICALES, SEGÚN LA OMM

Regiones Llanas	
Mínimo “óptimo”	1 Estación / Cuenca de 500 a 1,200 km ²
Mínimo	1 Estación / Cuenca de 1,000 a 2,500 km ²
Regiones Montañosas*	
Mínimo óptimo”	1 Estación / Cuenca de 300 a 1,000 km ²
Mínimo	1 Estación / Cuenca de 1,000 a 3,500 km ²
Dominicana (Total)	1 Estación / Cuenca de 300 a 3,500 km ² ²²

* En las regiones montañosas, es deseable tener estaciones cada 500m de altitud.

CUADRO AP. 2.3.6
ESTACIONES HIDROMÉTRICAS SELECCIONADAS
DE LA CUENCA DEL YAQUE DEL NORTE

RÍO	ESTACIÓN	ÁREA (km ²)
YAQUE DEL NORTE	MANABAO	172
AMINA	AMINA	326
MAO	BULLA	752
YAQUE DEL NORTE	P. QUEMADO	326

Fuente: NOUVELOT-RASSAM.90 56

UBICACIÓN Y SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RED BÁSICA

La ubicación debe hacerse **tomando en cuenta las condiciones físicas, climáticas y económicas de la región**. Características que permiten identificar *zonas con características hidrológicas homogéneas con relación a su potencial de escurrimiento superficial*. “Una zona físico-climática homogénea, corresponde a una zona hidrológica teóricamente homogénea”, si bien dentro de ésta las características del régimen hidrológico pueden tener valores algo diferentes²³.

21 Para definir la densidad óptima de una red básica los factores más importantes son las condiciones geográficas e hidrológicas y las variaciones espaciales del régimen hidrológico y de la precipitación. Así como las características de la hidrografía y la necesidad de datos hidrológicos que haya en la región.

22 Red actual de RD: 1/285km², aceptable pero no suficiente, debido a nuestro sistema orográfico.

Densidad recomendada para otras redes (temperatura del agua - transporte de sedimento - calidad de agua - precipitación - evaporación - temperatura - viento - radiación e insolación - agua subterránea, nivel y calidad) puede verse en FEBRILLET-MARTÍNEZ S./ 6-8.

23 Las zonas homogéneas se identificaron por el análisis de los componentes principales de los regímenes de las precipitaciones y los caudales, en base a una muestra de 76 estaciones con más de diez años de observaciones.

NOUVELOT-RASSAM.90/ 27.

Aptitud para generar escurrimiento superficial que está condicionado, principalmente, por cuatro grandes factores: el clima, la orografía, las características del subsuelo y del suelo, y la cobertura vegetal²⁴.

Y más concretamente la *permeabilidad* del subsuelo, con acuíferos alimentadores del escurrimiento superficial²⁵. El *relieve*, que condiciona la distribución de las lluvias entre el escurrimiento superficial y la infiltración²⁶. La *precipitación*, que es el factor climático más importante²⁷. Y la *vegetación y la cobertura vegetal*, que repercuten en la evapotranspiración, y en la influencia mecánica sobre el escurrimiento, etc.)²⁸.

Por ello la ubicación de las estaciones debe hacerse a partir del inventario de las zonas hidrológicas homogéneas, el mapa de las zonas cruciales y de los aprovechamientos teniendo, las condiciones físicas y económicas de la región, el régimen hidrológico y las normas de distribución espacial de las estaciones (OMM p. ej.)²⁹.

La distribución de las cuencas y sub-cuencas en el territorio nacional, es un dato fundamental para comprender las características hidrológicas y *seleccionar estaciones que sean representativas de su cuenca*, así como para evaluar la representatividad de las estaciones de la red actual.

Representativas de la mayor parte de las zonas homogéneas de una región. Y por ello cuencas “lo suficientemente pequeñas para garantizar una cierta homogeneidad del medio físico-climático y “lo suficientemente grandes” para que sus resultados puedan servir a la planificación de la red hidrométrica básica. Cuencas cuya combinación de factores físico-climáticos sea la misma que la de la zona homogénea elegida, o muy semejante.

24 **Los factores del escurrimiento superficial** pueden dividirse en: 1) *perennes*: morfometría de las cuencas (relieve, área, forma), ubicación y altitud, distribución de la red hidrológica, naturaleza del subsuelo y del suelo 2) *variables en el tiempo*: factores climáticos (precipitaciones, humedad, insolación, evaporación, evapo-transpiración, viento, presión atmosférica, circulación general, etc.), vegetación y cobertura del suelo, estado de saturación del subsuelo y del suelo.

25 **La permeabilidad.** Los terrenos que van “de permeables a bastante permeables” son más del 50% del país. Y los “impermeables” son menos del 30%. De ahí que la RD parece tener un potencial de agua subterránea no despreciable (Fig. AP. 2.3.1: Mapa de Permeabilidad). **NOUVELOT-RASSAM.90/ 59.**

26 **El relieve.** Las “pendientes muy fuertes, que superan el 32%” constituyen un 26% de la RD, y se dan en las cordilleras. Y las “pendientes débiles, inferiores al 4%”, representan un 34% del país, dándose en los valles y la llanura oriental básicamente (Fig. AP. 2.3.2: Mapa de Pendiente).

27 **La precipitación** (anual, irregularidad interanual, distribución mensual, intensidades-duración-áreas, tipo de precipitaciones, etc.). Recibe “más de 1,600 mm” casi un 33% de la RD. Entre “1,000 y 1,600mm” casi el 50%. Y “menos de 1,000mm” de lluvia anual poco menos del 25% de país. **NOUVELOT-RASSAM.90/ 56).**

28 **La cobertura vegetal.** Influye en el balance del ciclo hidrológico, al incidir sobre la lluvia y el escurrimiento superficial. Tenía una “buena o regular cobertura” un 33% del país (sobre todo en las cordilleras y parte de la zona oriental). “Cobertura media” un 50% “. Y una “pobre o mala cobertura” menos del 20%. **NOUVELOT-RASSAM.90/ 28-38 y 62.**

29 **Mapa de las cuencas de las estaciones hidrométricas.** Se elaboró *digitalizando y superponiendo* los mapas de la red hidrográfica, el hidrométrico, el de usos y proyectos hidráulicos, y el de cada uno de los factores físico-climáticos de las diferentes cuencas. Así como las correlaciones entre las variables hidrológicas y los factores físico-climáticos. **NOUVELOT-RASSAM.90/ 62 y 66.**

Criterios de selección de los sitios: *hidráulicos* (cauce rectilíneo, estabilidad del fondo sección de control, estación de aforo, vegetación acuática). *Hidrográficos* (confluencia, influencia de la marea o de otro río). *Geomorfológicos* (llanuras costeras, valles aluviales). *Prácticos* (accesibilidad, telemetría, cruce de fronteras/sitios concretos (puntos espaciales, confluencias, de cuencas de áreas diferentes, para mayor representatividad) para más detalle ver **NOUVELOT-RASSAM.90/ 41-42 y 112-114.**

30 **NOUVELOT-RASSAM.90/ 92.**

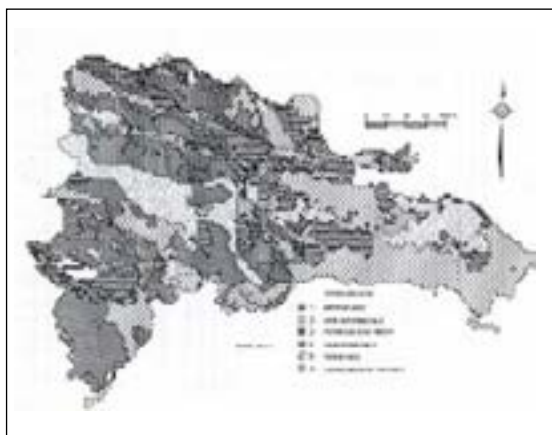


Fig. AP. 2.3.2 MAPA DE PERMEABILIDAD

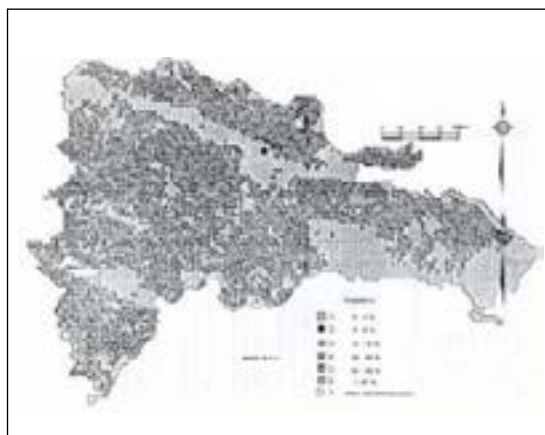


Fig. AP. 2.3.3 MAPA DE PENDIENTE

Se busca identificar las zonas de mayor área y escurrimiento, y lo suficientemente diferentes, para asegurar tomar en cuenta la totalidad de las combinaciones³⁰.

Por ello se dividió el país en **147 cuencas unitarias**, que no cubren todo el país, quedando unas *55 cuencas residuales*, áreas poco extensas a lo largo de los ríos principales, en zonas poco drenadas, y en zonas costeras³¹ (Fig. AP. 2.3.3).

Y se identificaron unas *300 zonas homogéneas*, de las cuales 162 tenían un área superior a los 100 Km²³² (Fig. AP. 2.3.4).

El estudio de la realidad mostró **la necesidad de contar con 69 estaciones** para la red básica de RD, siguiendo los criterios de la OMM, dotándolas de *limnógrafos con registro en memorias informáticas*. Inicialmente se pensó que serían 25 las estaciones de la red, y de ellas doce ya estaban equipadas (Fig. AP. 2.3.5).

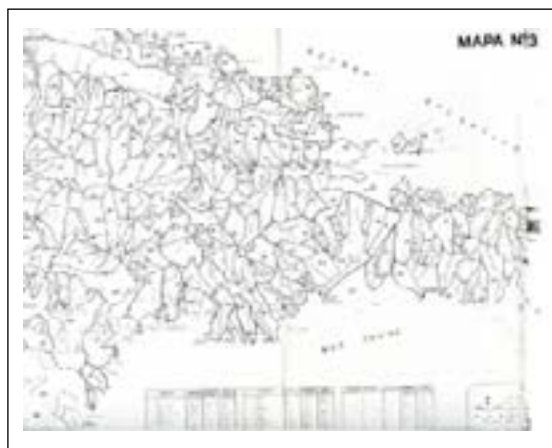


Fig. AP. 2.3.4 MAPA DE CUENCAS UNITARIAS

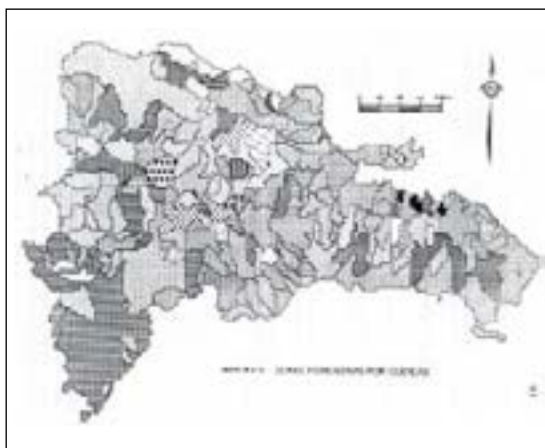


Fig. AP. 2.3.5 MAPA DE ZONAS HOMOGÉNEAS

31 **147 cuencas unitarias**, que van de 33 a 426km² (108 cuencas tienen menos de 200km². Y *55 cuencas residuales*, cuya área varía entre 56 y 1,817km².

32 300 zonas homogéneas. Para identificarlas se *cruzaron los diferentes mapas*. Y se estudiaron las *correlaciones* "entre las precipitaciones promedio anuales, la pendiente, la permeabilidad, la altitud, y la cobertura vegetal", de una *muestra de las 203 cuencas unitarias y residuales*. NOUVELOT-RASSAM.90/ 72-84 y 107.

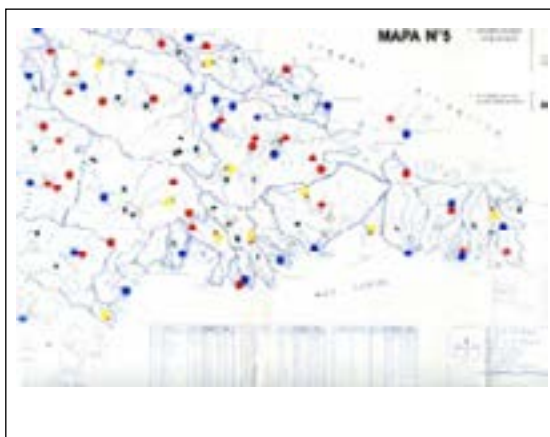


Fig. AP. 2.3.6 MAPA DE LA RED BÁSICA



Fig. AP. 2.3.7 MAPA ESTACIONES HIDROMÉTRICAS

46 estaciones en “pequeñas cuencas”, y de las que seis ya estaban equipadas de una estación hidrométrica completa, con limnógrafo³³. Y 23 estaciones en “grandes cuencas”, de las que seis ya estaban equipadas³⁴ (Cuadros AP. 2.3.7 a 2.3.8).

Además había once estaciones con más de diez años de observaciones, si bien de ella sólo cinco estaban equipadas y en operación, y varias no tenían cuenca muy homogénea³⁵.

33 Las **pequeñas cuencas** van de varias decenas de km² a unas centenas de km², según las condiciones físico-climáticas, para una red hidrométrica de base, con una gran proporción de pequeñas cuencas, un desglose de la zona de estudio en cuencas unitarias de 50 a 100 km² parece ser una buena decisión.

34 Las **grandes cuencas** (de centenas o millares de km²) *no son homogéneas*, ya que no pueden ser seleccionadas en base a criterios de representatividad que inducen una cierta homogeneidad. Pero las estaciones de “grandes cuencas” deben también incluirse en una red hidrométrica básica, para que ésa sea satisfactoria.

35 **Once estaciones supervivientes** del grupo de las “29 estaciones seleccionadas” de la red existente para su posible incorporación a la red básica. Los *criterios para la selección* fueron tener: un régimen hidrológico natural o poco modificado, buenas condiciones hidráulicas, equipos completos para observaciones y mediciones y datos de buena calidad, y más de diez años de observaciones. Sólo un 50% de las mismas fueron incorporadas a la red básica, y no eran representativas de la totalidad del país. NOUVELOT-RASSAM.90/ 51-52, 109. Ver Fig. AP. 2.3.6.

CUADRO AP. 2.3.7
ESTACIONES RED BÁSICA NACIONAL EN CUENCAS HOMOGÉNEAS

Fecha: 10-Feb-90

CUADRO N°6.9

ESTACIONES DE LA RED HIDROMETRICA BASICA NACIONAL

Estacion o lugar Rio o Cuenca Precip. Pendiente Cobertura Permeab. Zona Pluv.
Vegetal

* EN CUENCAS HOMOGENEAS

LOS CERCADILLOS	JOCA	7	5	2	2	2
LOS ARROCES	MASIPEDRO	7	5	2	3	3
VILLA NIZAO	NIZAITO	7	5	2	5	2
DON JUAN	OZAMA	7	4	3	2	2
RINCON FOSON	YABON	7	4	3	2	2
RIO SAN JUAN	SAN JUAN (PTO. PLATA)	7	4	3	4	3
YASICA	YASICA	7	4	2	3	3
EL LINON	LINON-SAMANA	7	3	4	3	2
MONTE LLANO	CAMU NORTE	7	3	2	3	1
BATEY ESPERANZA	SAN PEDRO	7	3	2	5	2
NACIENDA ESTRELLA	HIJO-OZAMA	7	2	3	2	2
MANABAO	YAGUE DEL NORTE	*	6	5	2	3
CERRAZO	GUANAJUMA	*	6	5	2	3
MESETA	MAO	6	4	2	3	3
LOS ALGODONES	ARTIBONITO	6	4	2	3	2
IMBERT	BAJABONICO	*	6	4	2	3
PIMENTEL	CUABA	6	2	2	4	3
LA COJA	GUAYABAL	5	5	3	2	2
EL CACHO	HIJO	*	5	5	2	2
LOS CACAOS	MAHOMITA	5	5	2	3	2
EL NAMEY	DUEY	5	4	3	2	2
PTO. ESCONDIDO	LAS DAMAS	*	5	4	3	4
ARROYO BLANCO	INAGE	5	4	3	4	3
FANTINO	CUAYA	5	3	3	1	2
POTRO BLANCO	CANA	5	3	3	4	2
BOCA DE CABIA	CABIA	5	3	2	4	1
C. CAMU	CENSVI	5	2	3	2	3
EL SEIBO	ARR. LEBRON	5	2	3	2	3
LOS LLANOS	TOSA	5	1	2	3	2
DESEMBOCADURA	DUEY	5	1	2	5	2
PIEDRA COLORADA	LAS CUEVAS	4	5	3	2	2
COLONIA JAPONESA	GDE. DEL MEDIO	4	4	2	3	2
CAINITO	LICEY	4	3	4	2	3
POZO NEGRO	AMINILLA	4	3	3	3	3
PASCAL	YABONICO	4	3	3	4	2
LA ROMANA	DULCE	4	2	2	5	3
OCOA	OCOA	3	5	3	4	3
ALBANA	SUI	3	4	3	4	3
CONQUITOS	ARR. GUAYABAL	*	3	4	1	4
MATA DE FARFAN	MACASIA	3	3	4	4	2
CHAPETON	CANA (Y. NORTE)	3	3	3	4	3
MATA DE SANTA CRUZ	CHACUEY	3	2	3	4	3
ARROYO HONDO	BANILEJO	2	5	3	4	3
GUANARATE	GUANARATE	2	3	3	4	3
BANI	ARR. BAHIA	2	3	3	5	3
MILLO	MAJAGUAL	1	4	3	4	3

ESTACIONES YA EQUIPADAS *

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

CUADRO AP. 2.3.8
ESTACIONES RED BÁSICA NACIONAL EN GRANDES CUENCAS

Fecha: 10-Feb-90 CUADRO N°6.10

ESTACIONES DE LA RED HIDROMETRICA BASICA NACIONAL

Estacion o Lugar	Rio o Cuenca	Precip.	Pendiente	Cobertura Vegetal	Permeab.	Zona Pluv.
** EN GRANDES CUENCAS						
LAS CHARCAS	YAQUE DEL NORTE					
PUNTE SAN RAFAEL	YAQUE DEL NORTE					
PALO VERDE	YAQUE DEL NORTE					
EL PUENTE	YAQUE DEL SUR	*				
SABANA ALTA	SAN JUAN	*				
PLATANAL	YUNA					
LA SIJA	CAMU	*				
PEDRO SANTANA	ARTIBONITO					
DOS BOCAS	MACASIA					
BOCADNA	NIZAO	*				
ISABELA	BAJABONICO					
LOS BRAZOS	YASICA	*				
LOS COROZOS	HAJNA					
MONTE COCA	MAGUA					
PASO DEL MEDIO	SOCO					
LOS JENGIBRES	BOGA					
CHIRINOS	SABITA					
PIÑAR QUEMADO	YAQUE DEL NORTE					
PASO DE ITINA	SAN JUAN	*				
LOS QUEMADOS	YUNA					
INCA	ANDNA					
BULLA	NAC					
SAN LUIS	CEJANA					

ESTACIONES YA EQUIPADAS *

CUADRO AP. 2.3.9
ESTACIONES CON BUENOS DATOS Y MÁS DE DIEZ AÑOS DE OBSERVACIÓN

Fecha: 10-Feb-90

ESTACIONES CON BUENOS DATOS Y MAS DE 10 AÑOS DE OBSERVACIONES

Estacion o Lugar	Rio o Cuenca	Precip.	Pendiente	Cobertura vegetal	Permeab.	Zona Pluv.
HIGUERO	HIGUERO		7	4	3	2
ABADESA II	PAYABO	*	7	3	2	4
MAIMON	MAIMON		6	4	3	4
CARRIZAL	JURA	*	5	5	3	4
LA ESTRECHURA	NIZAO		5	5	2	4
ANAMUYA	ANAMUYA		5	4	3	2
SANTA LUCIA	CHAYON	*	5	4	3	3
DON MIGUEL	MASACRE	*	5	4	3	4
BAYACANES	CAMU		5	4	2	3
QUANITO	SANATE	*	5	3	3	2
EXCAVACION	CASUI		5	3	2	4

ESTACIONES YA EQUIPADAS *

EQUIPOS PARA LA RED

Para registrar el nivel de agua los *limnógrafos con flotadores* son muy confiables, pero implican obras importantes en el lecho madre de los ríos. Tienen gran riesgo de ser arrasados por las crecidas, y son muy sensibles al enarenamiento.

Los *sistemas neumáticos piezo-resistivos, o de ultrasonidos*, son también muy confiables y sólo necesitan instalaciones mínimas en los ríos: una sonda o un pequeño tubo de plástico. El propio limnógrafo, sistema electrónico, de pequeño volumen, puede instalarse en una caseta de plástico fuera del alcance de las crecidas más altas, o en la casa del observador.

Se puede “ahorrar así bastante dinero en obras civiles”, que puede ser utilizado para otras instalaciones hidrométricas. Incluidos sistemas de *almacenamiento de los datos hidrométricos en memorias estáticas*, para facilitar la depuración de los registros limnográficos.

CALENDARIO SUGERIDO PARA LA IMPLEMENTACION DE LA RED BÁSICA

1. Estaciones existentes por mejorar	20
2. Estaciones por instalar en 1990	27
3. Estaciones por instalar después del fin del proyecto	22
TOTAL	69

La instalación de una red telemétrica para la captación y transmisión de datos hidrológicos y meteorológicos *en tiempo real, en la cuenca del Yaque del Sur, permite un uso más racional de los recursos hídricos de la cuenca facilitando la preparación de pronósticos hidrológicos y la simulación hidrológica.*

Tiene *18 estaciones automáticas y semiautomáticas remotas*, y una estación central de recibo de la información en la sede del INDRHI, conectadas por el *satélite GOES-5*. Todas miden pluviometría y además nueve de ellas miden niveles limnimétricos y dos diversos parámetros climáticos³⁶.

El rendimiento de la red telemétrica es de un 70%, con registros prácticamente completos en las primeras instaladas, y con registros muy cortos en las más recientes.

Se dio prioridad a la cuenca del Yaque del Sur ya que sin esa información es imposible prever los riesgos de inundación en las zonas agrícolas bajo riego, de vital importancia para la región. Y para ayudar a establecer leyes confiables sobre los niveles/caudales, complementando del esquema de predicción hidrológica.

Y dada la necesidad de **predecir inundaciones en sitios concretos** se recomendó la instalación de escalas limnimétricas *rio arriba* de los sitios sujetos a inundación y su lectura regular, cada doce horas. Información que no estará disponible en tiempo real, pero que es fundamental para poder establecer correlaciones que ayuden a su predicción³⁷.

³⁶ **La red telemétrica**, al iniciarse el proyecto se había pensado con cinco estaciones, pero después de una extensa gira por la cuenca bajo estudio se vio la necesidad de ampliar la red.

La estación central de recibo de la información, o *Centro de Previsión Hidrológica (CPU)*, es capaz de hacer pronósticos hidrológicos para distintos plazos. Y su equipo consta de un multiplexer y decodificador de la información recibida, un módem telefónico, un computador IBM XT y otro IBM AT, (que facilita la aplicación de modelos de simulación hidrológica, y un sistema de potencia sin interrupción. Puede ampliarse para cubrir todo el país. **OMM-2/12-15**.

³⁷ **Establecer correlaciones** entre las alturas de las crecidas, en las escalas limnimétricas de dichos puntos con las alturas de las estaciones más cercanas recibidas vía satélite en el CPH. Correlaciones que no podrán realizarse a corto lazo, ya que deben apoyarse no sólo en observaciones de caudales medios y bajos, sino también de avenidas, y que requieren un largo registro para mayor precisión.

La ubicación de las escalas limnimétricas no tiene que ser necesariamente en el lecho normal del río. Deben estar colocadas en lugares de fácil lectura, aún en tiempo de inundación, pudiendo estar colocadas en cualquier parte de la zona inundable (p. ej. sobre puentes de la carretera) **ROUSEL/ 19. OMM/2, 29-30**.

Por otra parte, dadas las condiciones naturales del país (orografía, medios de comunicación, huracanes, etc.), **la descentralización de los medios humanos y de los equipos es algo fundamental** para el buen funcionamiento de la red hidrométrica.

Los técnicos deben tener la *posibilidad de realizar buenos aforos incluso en condiciones de emergencia*. Las estructuras para aforos de crecidas (puentes, teleféricos, etc.) son lo ideal, pero donde no existen debe poder contarse con botes plegables, métodos de aforos químicos, u otros. Y, en condiciones excepcionales deben poder hacerse mediciones con *flotadores*.

La instalación de un *sistema de teletransmisión de los registros* realizados en ciertas estaciones (por radio, satélite o teléfono), ayudará a la programación de los aforos, el control de los equipos y a racionalizar la operación de la red³⁸.

El banco de datos del Departamento de Hidrología del INDRHI ampliado a nuevas áreas, programas y modelos, es un gran potenciador de los datos hidrométricos y climáticos que se recogen. Banco que cumple varias *funciones*: 1) “conservar” los datos básicos: alturas del nivel de agua, aforos, caudales, historial de las estaciones (ubicación, equipos, morfometría, etc.), características de las cuencas (datos físico-climáticos, etc.). 2) ayudar a “procesar y analizar” los datos de una manera rápida y homogénea y 3) facilitar el “acceso a la información” a los diferentes usuarios³⁹.

RACIONALIZACIÓN DE LA RED

La racionalización de la red **no puede hacerse antes de tener al menos unos diez años** de registros hidrométricos, continuos y con buena calidad de los datos.

Si la red recomendada para RD estuviera completamente instalada y con buen funcionamiento en 1992, entonces sería posible estudiar la racionalización de la red *a partir del año 2002*, contratando los recursos humanos y materiales necesarios para ello⁴⁰.

Como paso previo hay que determinar las regiones homogéneas, hacer transferencia de la información geográfica dentro de esas regiones, determinar la correlación entre las estaciones base y satélites, y determinar el número de estaciones a agregar, y a eliminar de la red⁴¹.

38 **NOUVELOT-RASSAM.90/ 115.**

39 **Banco de datos.** La *información básica* de los mismos consiste únicamente en las observaciones de los observadores y/o en los registros de los limnógrafos. Las correcciones y estimaciones deben archivarse con códigos especiales. Es fundamental tener siempre la posibilidad de regresar a la información original y a su manejo, y saber si los datos ofrecidos son originales o no, fiscalizados o no.

Cubre datos hidrométricos, climáticos, hidrogeológicos, químicos y geofísicos. Usa programas FORTRAN IV para los trabajos sobre limnimetría, caudales, lluvia, clima, análisis químicos, hidrogeología, y visualización de datos. Y tiene *modelos y programas especiales* para hidrometeorología, operación de embalses, calidad de datos, precipitación máxima probable (PMP), hidrográfico unitario, sedimentación, determinación de caudales en cuencas sin datos, para más información ver **FEBRILLET-Hidro/ 13-17.**

NOUVELOT-RASSAM.90/ 16-117.

40 **La racionalización de la red implica**, entre otros puntos, 1) definición de la red hidrométrica de la RD: historia y vocación de las estaciones, su distribución y densidad, duración de las observaciones. 2) revisión del objetivo de la red: usos anteriores, tendencias, utilidades esperadas y adecuación de la red. 3) errores de muestreo y su corrección. 4) estaciones satélite, su status y longitud de sus observaciones. 5) determinación de la densidad óptima. 6) instalación de estaciones y desmantelamiento de las innecesarias o redundante. **NOUVELOT-RASSAM. 90/ 120.**

41 **La determinación de la adecuación de la transferencia de la información** permitirá determinar las *regiones hidrológicamente homogéneas*, dentro de las cuales la transferencia de información hidrométrica es potencialmente eficaz.

Las estaciones base, independientes estadísticamente, son una “estación de referencia que garantizan una serie continua de observaciones consistentes sobre datos hidrológicos y climatológicos”. Son elementos clave de una red y cada región natural debería tener, por lo menos, una estación base.

Las estaciones satélite, o secundarias, son aquellas cuyos datos pueden ser explicados, hasta cierto punto, por los datos de una o de varias estaciones base. *El período necesario de observaciones* de una estación satélite depende de lo que se quiere observar y de la correlación que exista entre ambas estaciones. Si la característica considerada es “variable en el tiempo”, el período de observación debe ser más largo.

Correlación entre estaciones base y satélite. Si los datos de una estación base permiten conocer las características del escurrimiento de una estación satélite, ésta puede ser suspendida y relocalizada, evitando una duplicación de la información y facilitando equipo para otro sitio.

NOUVELOT-RASSAM.90/10-11 y 118-119.

Mientras tanto la tarea principal es *asegurar la continuidad y fiabilidad de las observaciones, y la validación de los datos*, haciéndolos accesibles a todos los usuarios potenciales. Y se pueden agregar estaciones a la red por necesidades de proyectos de recursos hídricos o por descubrirse una inadecuada representación de regiones concretas en la red hidrométrica⁴².

CAUDALES DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LA RD

Los caudales de las aguas superficiales de RD tienen un **ciclo hidrológico bien definido**, desde abril de cada año a marzo del año siguiente, con épocas secas o de estiaje, así como de crecidas bien definidas a lo largo del tiempo.

Su caudal específico promedio es de unos 25.4 litros/s/km², según el estudio de PLANIACAS (1983). La cuenca de mayor producción era la del río Yuna (50 litros/s/km²). Y la de menor producción la cuenca baja del Yaque del Sur la (11 litros/s/km²)⁴³.

La *escorrentía media* tiende a ser mayor en la parte nordeste del país, disminuyendo a medida que se avanza hacia el suroeste, la región más seca del país, dada la posición de los macizos montañosos.

Los valores medios para las cuencas más importantes se muestran en el siguiente cuadro:

CUADRO AP. 2.3.10
VALORES MEDIOS CUENCAS MÁS IMPORTANTES DE RD

Río/Cuenca	Área (km ²)	Producción (litros/s/km ²)
Yaque del Norte	6,718	12.5
Yuna	5,134	50.0
Artibonito (RD)	2,260	22.5
Yaque del Sur	4,647	15.8

Los caudales de crecidas, son como promedio 1,019.6 litros/s/km² a nivel nacional, dándose de mayo a junio en años normales y de agosto a octubre en los años con mucha actividad ciclónica.

Los caudales *máximos* son de unos 2,500 litros/s/km², en las cuencas de la parte norte del país. Las crecientes se dan con mayor energía en la parte norte de la Cordillera Central, dada la fuerte pendiente de sus cauces, y se disipan al llegar al valle. Aquí los problemas son el gran volumen de agua acumulado, y acrecentado por la poca capacidad de los cauces de los ríos en la parte baja de las cuencas, para evacuarlos. Las cuencas del país presentan siempre un cambio abrupto en su pendiente, dando origen a lo dicho.

Estiajes mínimos. Los últimos datos son de 1967-68 y 1975-76, que si bien nunca se prolongaron más allá de dos años hidrológicos, sí agotaron por completo dos de algunas de las cuencas. Estas dos épocas registradas han servido para definir claramente el patrón de recesión o agotamiento de los caudales básicos en el país⁴⁴.

42 **Registro fiable de la información.** Lo que supone: 1) selección adecuada del sitio de la estación: estabilidad de la sección de control, curva unívoca de calibración; 2) capacitación de los observadores: lectura, verificaciones preliminares, detección de anomalías, preparación de reportes de observación; y 3) control de la calidad de los datos observados, de los equipos e instalaciones.

43 **Estudio de los caudales naturales, en base a una simulación hidrológica**, ya que el estudio en base a registros de observación directa, es problemático. Las lluvias varían mucho espacialmente, desde lugares con más de 2,000mm al año hasta otros con menos de 500mm, dispersión que se refleja en la escorrentía media. Y no hay información segura sobre la introducción y extracción de agua en ciertas cuencas. Todo ello dificulta la estimación de los caudales naturales, a partir de datos observados, al no saber si la serie registrada responde realmente a su régimen natural. Las metodologías del INDRHI para el cálculo de caudales de diseño pueden verse en FEBRILLET-Exp/ 18, 34-37.

44 FEBRILLET-Exp/1 y 19-20.

3. RECURSOS HÍDRICOS

ÍNDICE

<i>Introducción</i>	.78
<i>La Cuenca del río Yaque del Norte</i>	.79
<i>La Cuenca del río Bao</i>	.80
<i>Sub-cuencas del río Bao</i>	.82
<i>Caudales y estaciones hidrométricas</i>	.84
Apéndices	
<i>Ap. 3.1 Características de los Cauces fluviales Dominicanos</i>	.89
<i>Ap. 3.2 Mejoramiento del Ciclo Hidrológico de la Cuenca de Bao:</i> <i>Estrategias</i>	.91
<i>Ap. 3.3 Dos Zonas principales de la Cuenca de Bao,</i> <i>según la morfometría fluvial</i>	.93

INTRODUCCIÓN

La República Dominicana tiene una superficie de 48,442 km², con un territorio accidentado en un 60% de su extensión, que da lugar a **numerosas cuencas hidrográficas de pequeña extensión** que se encontraban originalmente cubierta por bosques de pino y otras especies nativas¹.

Los recursos hídricos dominicanos han sido divididos en **catorce cuencas hidrográficas y cinco distritos de riego**, para un mejor manejo del recurso de hídricos superficiales. La más importante de sus cuencas es la del *río Yaque del Norte*, en la que se ha desarrollado el complejo Tavera-Bao-López para el aprovechamiento del recurso agua: generación eléctrica, riego aguas abajo de Santiago, y agua potable para el acueducto Cibao Central y otros de menor importancia.

El financiamiento del complejo Tavera-Bao-López, así como la rehabilitación y ampliación del distrito de riego del Yaque del Norte fue otorgado en gran parte por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

La cuenca del río Bao se encuentra en el **sistema hidrográfico del Yaque del Norte** y forma parte de su amplio e importante sistema hidráulico.

Las aguas de la cuenca del Bao, ubicada al comienzo del importante sistema hidrográfico del Yaque Norte, son de gran *importancia*, por el gran número de aprovechamientos (hidroeléctrico, riego y acueducto), que se benefician con sus aguas, a largo del sistema del Yaque Norte. El embalse integrado de Tavera-Bao, formado por los embalses de Tavera y Bao interconectados por un canal de gran capacidad, tiene una capacidad de 450 hm³.



Fig. 3.1 SISTEMA HIDROGRÁFICO DEL YAQUE DEL NORTE

Importancia de los recursos hídricos en la cuenca del Bao. La cuenca del río Bao *aporta el 49% del agua utilizada en el complejo de uso múltiple Tavera-Bao y tiene un potencial de unos 300 Kw (1/4 de la capacidad nominal de RD, en 1992).*

A nivel nacional, la cuenca del río Bao *es más importante como un área de captación de agua para los embalses de fines múltiples (producción hidroeléctrica y riego aguas abajo, en el Valle de Santiago), atenuación de crecidas y generación de energía eléctrica, que por su producción agrícola*².

1 Territorio accidentado, con pendientes de más del 40%.

2 CD-J&M/ 5.

Su **caudal** es de unos $64\text{m}^3/\text{s}$, como promedio, y su volumen anual es de unos $3,060\text{Mm}^3$ como promedio, en la estación de Palo Verde.

Los *recursos hídricos de la margen izquierda*, que son prácticamente los únicos que tiene, se concentran en “dos zonas principales”: 1) la cuenca alta del río Yaque del Norte y 2) la de los ríos Bao, Amina, y Mao. Cuenas que aportan unos $2,300\text{hm}^3$ anuales de agua al sistema del Yaque del Norte, es decir, las dos terceras partes del aporte total anual.

Sus caudales *sirven al sistema de riego más extenso* del país, aguas abajo de Santiago, estando concentrado principalmente en la margen oriental del Yaque del Norte, en la parte de la Cordillera Septentrional.

Las *lluvias* de la cuenca varían entre 500 y $2,000\text{mm/año}$, totalizando unos $9,169\text{Mm}^3/\text{año}^4$.

LA IMPORTANCIA DE LA CUENCA DE BAO: TRES DIMENSIONES PRINCIPALES

1. Fuente de exportación de agua para los regantes de aguas abajo y para consumo doméstico, así como de energía eléctrica, productos agrícolas y forestales. Y por el lado negativo, como exportadora de sedimentos.

2. Hogar de lugareños con unos recursos primarios (tales como el suelo, el agua y la energía) que ellos podrán convertir en productos de subsistencia y fuentes de ingreso para mejorar su nivel de vida.

3. Recurso nacional con sus suelos, bosques, área de parques nacionales y recreación.

El desarrollo y la administración de sus recursos *tienen que satisfacer las demandas locales, las de aguas abajo y las nacionales, sin reducir los derechos de los otros sectores*. Y habrá que procurar utilizar prácticas que satisfagan objetivos múltiples. P.ej. control de sedimentos, pero de manera que contribuya a la productividad de los suelos locales, y a la administración de bosques y aguas de tal manera que no se arriesguen los intereses nacionales⁵.

LA CUENCA DEL RÍO BAO

Descripción. La cuenca del río Bao ($86,426.27\text{ha}$) es una *sub-cuenca* del río Yaque del Norte estando localizada en la vertiente septentrional de la Cordillera Central.

El río Bao *nace* en la parte alta de la Cordillera Central a una altura de $2,704\text{m/snm}$. En su inicio se llama Arroyo Baíto y corre hacia el norte pasando cerca de Jánico y Sabana Iglesia.

Su *desembocadura* antes era directamente en el Yaque del Norte unos 4.2km de Sabana Iglesia. Pero la construcción de la presa Bao interrumpió su curso para formar el embalse del mismo nombre. Embalse que en el Alto de Lanón inicia el canal de interconexión con que se comunica con el embalse de Tavera, que recoge las aguas del río Yaque del Norte, a la altura de Baitoa, formando un embalse conjunto⁶.

Las aguas conjuntas del embalse de Tavera-Bao, procedentes de los ríos Yaque del Norte y Bao, después de ser turbinadas en la central hidroeléctrica de Tavera pasan al río Yaque del Norte. Así como las aguas que salen de dicho embalse conjunto directamente para riego, y otros usos.

Tiene una longitud de 66.5km y un *caudal* de $19.59\text{m}^3/\text{s}$ promedio en Sabana Iglesia lo que representa un 49% del volumen de agua que aporta toda la cuenca del Yaque del Norte al complejo Tavera-Bao.

Es el *afluente principal del río Yaque del Norte*⁷.

4 **Caudal del río Bao.** Para más información ver el Cap. 2 Clima (e Hidrometría), pp. 27. **KD-AN1/ 12** y **KD-AN7to/ 3-4**.

5 **CID-J&M/ 38**.

6 **La presa de Bao está a unos 7 km** de la antigua confluencia del río Bao con el Yaque del Norte.

7 **KD-AN1/ 13** y **KD-AN7to/ 4**.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

Sus **afluentes** principales, según la importancia de su caudal, son el Jagua, Guanajuma, Baiguaque y Jánico.

La cuenca de Bao *originalmente*, antes de la construcción del embalse de Bao, estaba integrada por cinco ríos principales (el Bao y cuatro afluentes, que desembocaban en el cauce natural del río Bao), con una superficie total de 870km². Y el río Bao era un río de 5o orden, según la clasificación de Horton, antes de su desembocadura en el Yaque del Norte.

Pero *actualmente*, como consecuencia de la construcción de la presa de Bao, cambió la situación. Todos los ríos que formaban la cuenca del Bao fluyen directamente al embalse, son cinco ríos independientes, con sus propias cuencas, que vierten sus aguas en forma separada en el mismo.

La red de drenaje de la cuenca del río Bao se compone de *cinco sub-cuencas* (Bao, Jagua, Guanajuma, Baiguaque y Jánico) y *35 micro-cuencas*.

La longitud de la red de drenaje es de unos 1,088km, correspondiendo a *los ríos permanentes* 240.1km, y a los ríos intermitentes 848.8km. No se incluyen las líneas de drenaje, que solo llevan agua durante las horas de lluvia y algunas horas después.

La *micro-cuenca de mayor extensión* es la de un tributario del río Bao-Qba (5,579ha). Y la más pequeña es la de un tributario del río Baiguaque - Cb, con sólo 1,367ha⁸.

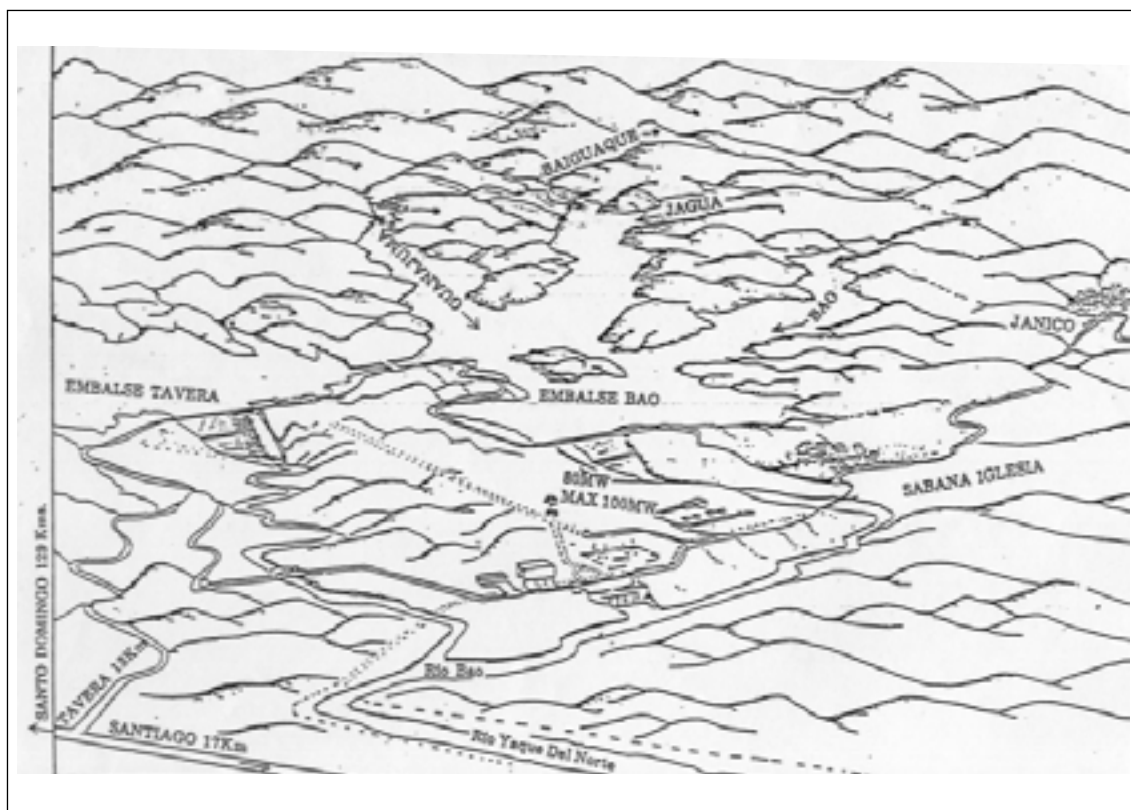


Fig. 3.3 DIAGRAMA FLUVIAL DE LA CUENCA DEL BAO

CUADRO 3.1
SUB-CUENCAS DE LA CUENCA DEL BAO

Sub-cuenca	Superficie		Aporte de Caudal		Micro-cuencas
	Área	%	m ³ /s	%	
1. Río Bao	43,684 ha	50.6%	9.80	50%	19
2. Río Jagua	17,909 ha	20.7%	9.90	25%	7
3. Río Guanajuma	12,029 ha	13.9%	2.35	12%	3
4. Río Baiguaque	6,849 ha	7.9%	1.57	8%	4
5. Río Jánico	4,917 ha	5.7%	0.97	5%*	2
Embalse	1,012 ha	1.2%			
Total Cuenca del Bao	86,400 ha	100%	24.59	100%	35

Elaboración propia, en base a datos de Kokusai-Desagro.

* Caudal promedio estimado, por carecer de información confiable.

SUB-CUENCAS DEL RÍO BAO

El río Bao es **el mayor de los cinco ríos que conforman la cuenca**. Mide 66km, abarca más de la mitad del área de la cuenca total (un 50.6%), drenando 436.84km² y aporta la mitad del caudal de sus aguas (50%). (Ver Cuadro 3.1).

Nace en el Valle de Bao, al oeste de la Pelona (3,168m/snm).

El río Bao **aporta un 70% del volumen de agua que entra en el embalse de Bao debido a sus bosques tropicales y pluviosidad**. Tiene la mayor parte de los bosques tropicales de toda la cuenca (28,071 ha, es decir, un 57.53% del total) y un 60% de ellos corresponden a la reserva forestal nacional.

Bosques tropicales, a 1,200m de altura o más, con lluvias 130-140% mayores que las de las partes bajas de la misma sub-cuenca (300-500m de altitud), observándose en los bosques de la cuenca alta la propagación de Saruogase, típica de alta humedad.

La zona de bosques de protección mantiene la abundancia de agua y la calidad de los suelos de esta sub-cuenca. De ahí que el área de vegetación muy densa de su cuenca superior sea de gran importancia hidrográfica y debe conservarse en el futuro.

Su **caudal** se estima en unos 5m³/s el mínimo. Y el coeficiente entre los volúmenes máximo y mínimo de su corriente es 70. Y es relativamente estable en cuanto al volumen de la corriente, pudiendo considerarse como un río de agua abundante, comparado con ríos de longitud similar en el país.

Dada la extensión de la sub-cuenca, la probabilidad de que caiga la lluvia en todo el área es muy poca. Y a la luz de las inundaciones ocurridas se determinó que el **máximo volumen de corriente previsible es de 350m³/s**, con una duración de tres horas, pudiendo darse cada diez años.

El río lleva agua constantemente, a pesar de que en la época seca la parte superior del río Bao no recibe lluvias, gracias a los aportes de las aguas subterráneas. Parte de la lluvia que penetra en el suelo de la parte superior del río, gracias a la alta retención del agua, se va filtrando gradualmente y de manera continua en el río a lo largo de todo el año. Y las lluvias que caen en esa sub-cuenca entran y corren suavemente en los ríos de la misma.

Sus **afluentes**, dentro de la cuenca total, son el Jánico, Jagua, Baiguaque y el Guanajuma, que se describen más abajo. Y dentro de su sub-cuenca los ríos La Guácara (20km), el Baíto (8km) y De los Negros Chiquitos (16km), y el Jamanú 13km.

Presenta un **cauce bastante irregular**, con estrechamientos en diferentes puntos. Según su análisis morfométrico tres estrechuras del río, donde se reduce la corriente, provocan que a medida

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

que se incrementa el volumen de la agua, disminuye drásticamente el *flujo y la capacidad de transporte del río hacia el embalse*, en otros siete lugares⁹.

CUADRO 3.2
CARACTERÍSTICAS DE LOS CURSOS FLUVIALES
MÁS IMPORTANTES DE LA CUENCA DEL BAO

CAUCE	LONGITUD (km)	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA	PENDIENTE	Nº DE ORDEN
BAO	66	2,400	330	0.031	4
La Guácara	20	2,300	1,100	0.060	3
Baíto	8	2,400	1,300	0.138	3
De los Negros Chiquitos	16	2,100	1,080	0.064	3
Jamanú	13	1,700	680	0.079	3
JAGUA	40	1,800	330	0.037	4
Donaja	8	1,700	900	0.100	3
Gurabo	12	1,300	750	0.046	3
GUANAJUMA	36	1,600	330	0.035	4
Arenoso	7	1,100	700	0.057	3
BAIGUAQUE	26	950	330	0.024	3
Atabayo	10	900	600	0,030	2
JÁNICO	20	650	330	0.016	3

Fuente: Estudio de factibilidad del plan de manejo y conservación de la sub-cuenca hidrográfica del río Bao, subcomponente de desarrollo hidráulico. **BKDA2BAO KOKUSAI-DESAGRO**.

Informe complementario al informe del experto Ing. Guillermo Numhauser presentado por el Consorcio Kokusai-Desagro a ONAPLAN en junio de 1992.

El río Bao serpentea por una compleja estructura geológica, formando *valles profundos* por la fuerza de su corriente¹⁰.

En el *lecho del río* se observan muchas andesitas y tobas provenientes de la meseta aluvial Y hay piedras con un tamaño de más de 20cm, que se suponen originarias de la Cordillera Central, y que llegaron al Bao con ocasión de inundaciones. La fuente del río Bao se encuentra en la montaña La Pelona, cercana al Pico Duarte, en la Cordillera Central¹¹.

9 Análisis morfométrico del río Bao. Se seleccionaron once puntos para conocer la morfología del río Bao y cómo la forma del cauce afecta el libre movimiento del agua, cómo las deformidades afectan el libre movimiento del fluido.

La mayor estrechura de todo el río tiene apenas 4m de ancho en el fondo, 7m entre los bordes y una profundidad de unos 8m, dificultando aún más el libre desenvolvimiento de la corriente. Hay secciones con un ancho de 30m en la superficie y 8m de profundidad, facilitando el flujo del río en este tramo Otras están encajonadas con taludes casi verticales, con 12m de borde, y fondo estrecho de 4m y forma de "V".

Para el análisis morfométrico se tomaron como elementos básicos los perfiles transversales y su conformación en ambos márgenes. El radio hidráulico, el área húmeda, la velocidad en superficie y de fondo, así como la pendiente del lecho entre cada punto.

Se realizaron cálculos computarizados de flujos variados para estimar la situación de las inundaciones, y se analizó la capacidad de carga de la corriente, mostrando la velocidad del flujo, la pendiente del cauce, la energía de arrastre, el movimiento de los sedimentos y el diámetro del material que arrastra, para cada caso.

Se tomaron muestras de los componentes del lecho y se analizaron los tamaños de sus partículas, para calcular las relaciones entre el volumen de la corriente, la carga del lecho y la carga en suspensión.

10 Compleja estructura geológica. En las áreas cercanas a la desembocadura del río se observan estratos de caliza, pizarra y marga. Mientras que en lugares distantes 500-800m de la desembocadura tiene una forma de meseta diluvial, con gran cantidad de conglomerados de variados tamaños (10-70mm).

11 KD-An7se/ 30.

Los lugares con 1,200m de altitud, o menos, en forma de meseta aluvial, están *más desarrollados* por sus moradores.

Si bien se ha acelerado el proceso de erosión de la tierra en esta zona por el pastoreo del ganado en las pendientes de sus lomas desarrollando pasturas degradadas, propensas a ser erosionadas por las lluvias.

La sub-cuenca del río Bao está dividida en 19 micro-cuencas, agrupadas en cuatro, según el grado de pendiente¹².

CINCO RÍOS PRINCIPALES DE LA CUENCA DEL BAO: DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA BÁSICA

- **Río Bao:** Tiene una longitud 66km y un Orden 4 a la entrada al embalse Bao, en la cota 330. Antes de la construcción de la presa de Bao recibía en su cauce natural las aguas de los otros cuatro ríos principales que describimos en esta sección, y ahora los recibe en el embalse de Bao. Dentro de su sub-cuenca se han determinado cinco afluentes de importancia:

- *Río La Guácara:* De longitud 20km y Orden 3 en su desembocadura, en el curso del Bao en la cota 1,100.
- *Río Baíto:* De longitud de 8km y Orden 3 en su desembocadura, en el curso del Bao en la cota 1,300.
- *De los Negros Chiquitos.* De longitud 16km y Orden 3 en su desembocadura, en el curso del Bao en la cota 1,080.
- *Jamanú.* De 13km de longitud y Orden 3, en su desembocadura, en el curso del Bao en la cota 680.

- **Río Jagua:** Con una longitud de 40km y Orden 4 a la entrada del embalse de Bao, en la cota 330. En este río se han detectado dos afluentes de importancia:

- *Río Donaja:* Con una longitud de 8km y Orden 3 en su desembocadura, en el curso del Jagua en la cota 900 aproximadamente.
- *Arroyo Gurabo:* Con una longitud de 12km y Orden 3 en su desembocadura, en el curso del Jagua en la cota 750.

- **Río Guanajuma:** Con una longitud de 36km y Orden 4 a la entrada en el embalse de Bao, en la cota 330. En este río se han detectado solo un afluente de importancia:

- *Arroyo Arenoso:* Con una longitud de 7km y Orden 3 en su desembocadura en el curso del Guanajuma a la cota 700.

- **Río Baiguaque:** Con una longitud de 26km y Orden 3 a la entrada del embalse Bao en la cota 330. En este río se ha detectado un sólo afluente de importancia:

- *Arroyo Atayabo:* Con una longitud de 10km y de Orden 2 en su desembocadura en el curso del Baiguaque en la cota 600.

- **Río Jánico:** Único afluente del antiguo curso del Bao que desembocaba en la ribera izquierda de este, con una longitud de 20km y Orden 3 a la entrada del embalse Bao, a la cota 330. En este río no se han detectado afluentes de importancia¹³.

12 **Sub-cuenca del río Bao: 19 micro-cuencas** que comprende las áreas de Los Montones Abajo, La Guazuma, Corocitos, Cagueyes, Damajagua, Málaga, La Placita, Juma Arriba, Las Lagunas, Loma Prieta, Los Junquitos y Arroyo Prieto.

KD-AN1/ 70.

13 KD-AN2/15-16.

SUB-CUENCA DEL RÍO JAGUA

La sub-cuenca del río Jagua es la segunda mayor de la cuenca del río Bao, abarcando 179.09km², un 20% de la misma.

Tiene *buen retención del agua de lluvia* que se infiltra, forma aguas subterráneas y alimenta el río. La sub-cuenca tiene una *estructura geológica granítica*, y la fuerza de las corrientes del río erosiona y desmorona las piedras formando arenas, que hacen que la tierra de la sub-cuenca formadas con las mismas tengan buena retención.

Tiene *siete micro-cuencas* agrupadas en dos, según grado de pendiente. Y un 30% de su área corresponde a la reserva forestal nacional¹⁴.

El río Jagua nace en la Sierra Atravesada, a 2,100m/snm, mide unos 40km y es *el río de mayor pendiente* de la cuenca. Sus afluentes principales son el Donaja y el Arroyo Gurabo, de 8 y 12km de longitud respectivamente.

Tiene flujo constante de agua y es *el segundo río en importancia*, por su caudal, en la cuenca, y en su contribución de agua al embalse de Bao

Su volumen *de sedimentación es pequeño* relativamente, en comparación con el volumen de su corriente, debido a la estructura granítica de la sub-cuenca y su topografía compleja (por levantamientos de la tierra debidos a la actividad volcánica de otras épocas), y con una erosión que avanza actualmente formando valles consecuentes en la parte superior del río.

Se estima que el *coeficiente*, o relación, entre el volumen máximo y mínimo de su corriente es 120.

Su *cauce* tiene un ensanchamiento regular unos 10km antes del embalse, en que presenta un encajonamiento muy estrecho. Y a partir de este punto se va ensanchando a medida que asciende entre los 400-1,800 m de altura.

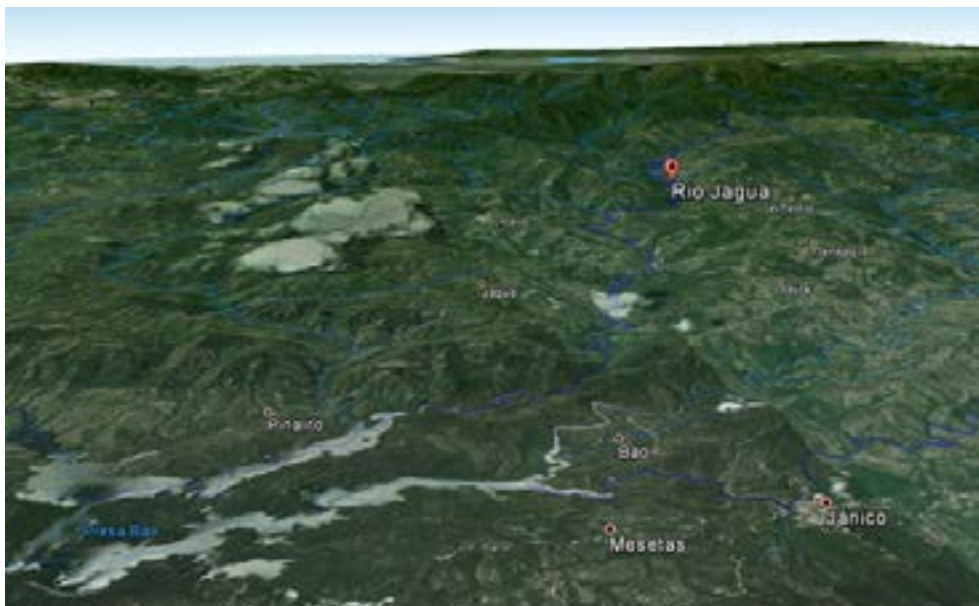


Fig. 3.4 CUENCA DEL RÍO JAGUA

¹⁴ **La sub-cuenca de Jagua tiene siete micro-cuencas.** La vegetación predominante en todas ellas es el pasto natural, seguido por el bosque claro y el bosque latifoliado, existen cultivos perennes predominando entre los mismos el café. Sus siete micro-cuencas están agrupadas en dos grupos:

1) *Un grupo* comprende las áreas de Juncalito, La Cejita, La Bijia, Los Limones y El Peñón, con una extensión de 7,180 ha con pendiente moderadamente pronunciada y una precipitación media anual de 1,500. 2) *Y el otro* las áreas de Manaclar, Los Corrales, Los Arroyos, Las Lomitas. Tiene una extensión de 10,487ha con pendiente pronunciada, comprendiendo un área de 10% de reserva forestal. **KD-AN1/ 69.**

SUBCUENCA DEL RÍO GUANAJUMA

La sub-cuenca del río Guanajuma (120.29km²) ocupa un 13,9% de la cuenca de Bao. Estrecha, con lomas a ambos lados, es *la segunda sub-cuenca más desarrollada*, después de la de Jánico, teniendo una alta densidad poblacional.

Tiene *cuatro micro-cuencas*, agrupadas en tres, según el grado de pendiente¹⁵.

El río Guanajuma tiene 36km de longitud, y corre hacia el norte, básicamente. Tiene un solo afluente de relativa importancia, el Arroyo Arenoso (7km). Su cauce se ensancha considerablemente en la parte media alta, entre los 400-1200m de altitud, y en el tramo comprendido entre los 20-35km de su desembocadura en el embalse. Y presenta un fuerte estrechamiento durante los últimos 15km de su recorrido.

Su volumen de *sedimentación es el segundo* de la cuenca, después de la del río Bao, en la desembocadura al embalse. El grado de erosión es avanzado, donde hay pastoreo y cultivos agrícolas, por lo que es necesario tomar medidas para conservar sus suelos¹⁶.

SUB-CUENCA DEL RÍO BAIGUAQUE

La sub-cuenca del Baiguate (68.49km²), ocupa un 7% de la cuenca de Bao, midiendo 26km. Y está distribuida en tres micro-cuencas, agrupadas en dos, según su pendiente¹⁷.

El río Baiguate nace en un lugar con una altura de 1,500m/snm. Desarrolló un *pequeño terreno aluvial*, en el que se asienta la aldea de Los Montazos, y su único afluente de cierta importancia es el Arroyo Atayabo (10km). Su cauce presenta un ensanchamiento en la parte de mayor pendiente (entre los 800-1200m de altitud), siendo más estrecho que el Guanajuma en la parte inferior.

La *sedimentación es baja en su desembocadura*, en el embalse de Bao, a pesar de tener *cultivos de café* y otros productos en las pendientes de la cuenca, con cierta pérdida de suelo superficial, por tener pocas corrientes.

SUB-CUENCA DEL RÍO JÁNICO

La sub-cuenca de Jánico es la *más pequeña* de las que componen la cuenca de Bao, midiendo 49km² (5.7% de toda la cuenca de Bao).

Tiene *poca área de bosques forestales* y no retiene las lluvias. Y las que no se filtran en el suelo arrastran los suelos superficiales, que junto con la corriente del agua de la lluvia, se incorporan al Río Jánico.

En esta sub-cuenca se desarrolló *la agricultura y los pastos en terrenos con pendiente* en mayor grado que en otras, por lo que está sufriendo daños por la fuerte erosión de sus tierras. Si continúa la pérdida de suelo, la productividad de la agricultura y los pastos de la zona será cada vez menor.

Es la sub-cuenca *con mayor erosión y pérdida de tierra*, entre las *cinco* sub-cuencas del río Bao, como lo indica el volumen de sedimentación en su desembocadura al embalse de Bao¹⁸ y está dividida en *dos micro-cuencas*, según su grado pendiente.

15 **La sub-cuenca del río Guanajuma tiene cuatro micro-cuencas**, agrupadas en tres según el grado de pendiente. En ellas están localizadas las áreas de Los Montazos, El Papayo, Los Pílonos y El Anón. La crianza de ganado no predominante tampoco en esta sub-cuenca. Y un 5% de su área corresponde a la reserva forestal. **KD-IF/ 69.**

16 KD-AN7sc/32.

17 La sub-cuenca del río Baiguate tiene dos micro-cuencas. Incluyen las áreas de Henequén, Franco Bidó, Los Auguelles, Jagua Abajo, Los Pocitos y El Corbano. La crianza de ganado no es predominante.

18 **Sedimentación en su desembocadura al lago.** Todos los ríos de la cuenca del Bao tienen lechos con una inclinación alrededor del 1% por lo que, cuando ocurren inundaciones, las corrientes torrenciales arrastran las tierras y piedras de los terrenos, salvo que se lo impidan las partes estrechas, al embalse de Bao. El estado de erosión de cada sub-cuenca puede observarse por las piedras y tierras acumuladas en las entradas de cada río al lago, cuando el nivel del agua de éste baja en la época seca. **La sub-cuenca de Jánico está dividida en dos micro-cuencas.** La *micro-cuenca de mayor extensión* es la de un tributario del río Bao-Qba (5,579 ha). Y la *más pequeña* es la de un tributario del río Baiguate-Cb, con sólo 1,367 ha.

1) *La del área de Jánico* (2,010 ha) tiene pendiente moderada. Su lluvia media anual es de 1,000mm, concentrada en los períodos de abril-mayo y septiembre-octubre, como es típico en la cuenca de Bao. Sus suelos son franco-arenosos y de baja fertilidad. Predomina el pasto natural en un 80% de la misma, y el restante el 20% se dedica al pasto, con guinea y pangola.

2) *La del área de Los Montones* (2,542ha), que tiene una pendiente moderadamente pronunciada. Está a unos 800m snm, y su precipitación media anual es de 1,200mm. Es la micro-cuenca con mayor concentración ganadera y mayor degradación de la cuenca de Bao. Las demás condiciones son similares a las de la micro-cuenca anterior. **KD-ANI/ 13, 67 y KD-IF/ 87.**

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

El río Jánico es el más pequeño de los cinco ríos principales de la cuenca, tiene una longitud de 20km, y el de menor aporte de caudal ($0.97\text{m}^3/\text{s}$). No teniendo afluentes de importancia.

Tiene aspecto ovoide, sin estrechamientos que puedan influir en la variación del flujo del agua en toda su morfología. Su máximo ensanchamiento se da en el km 20 de su curso, en la cota de los 500m de altura. Hay una gran diferencia entre el máximo y el mínimo de sus caudales a lo largo del año y en agosto, dentro de la época seca, hay días en que casi no hay agua en el río.

Lo que no impide que haya áreas de la sub-cuenca del río Jánico que reciben *lluvias* de más de 20mm/hora en días concretos, incrementando el nivel del agua del río y dándole un color pardo-rojizo, por los sedimentos que arrastran. Son crecidas torrenciales que duran poco tiempo, bajando el nivel del agua el resto del año¹⁹.

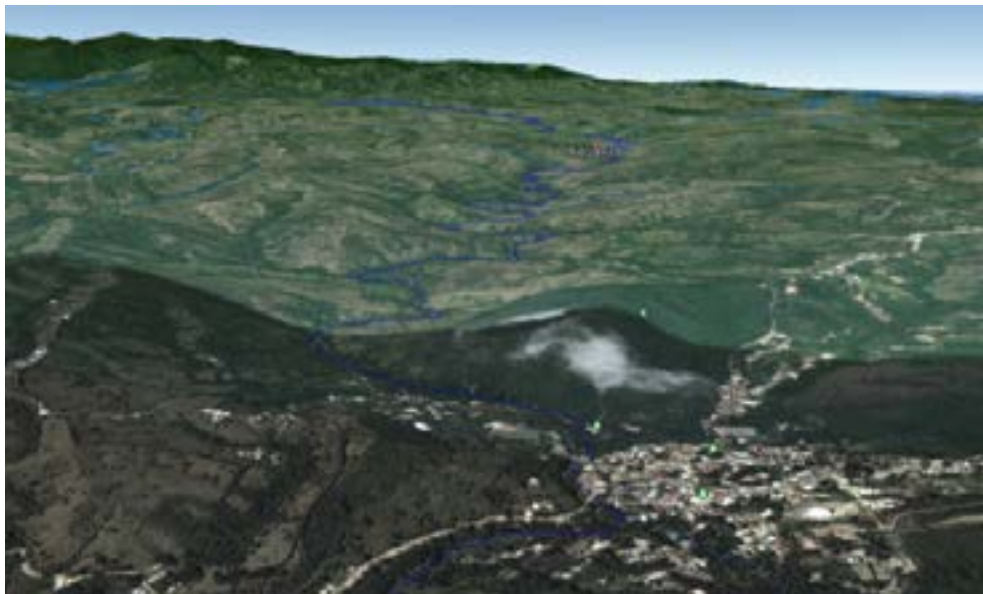


Fig. 3.5 CUENCA DEL RÍO JÁNICO

¹⁹ KD-AN7s/ 30 y KD-IF/ 29.

APÉNDICE 3.1

CARACTERÍSTICAS DE LOS CAUCES FLUVIALES DOMINICANOS

Los cauces fluviales están **condicionados** por la topografía, el relieve y el clima, así como por la estructura geológica, la litología y la vegetación. Y debido a eso ciertos tramos de los cauces tienen mayor estabilidad o inestabilidad fluvial que otros.

Los ríos dominicanos tienen una *gran pendiente en los tramos de cabecera*, ya que nacen a gran altura y bajan rápidamente hacia los valles inferiores, dada su corta extensión, sin apenas transición. De ahí que los tramos altos son erosivos y de gruesa granulometría.

Su pequeña transición provoca la deposición en abanicos aluviales de los materiales gruesos transportados, dando paso a tramos de materiales muy finos, y a veces cohesivos. Tramos *sin armado de protección del lecho*, de reducidas pendientes, amplios valles y grandes caudales. Cada tramo presenta condicionantes morfológicas diferentes.

En conjunto, se observa que los problemas graves de erosión se concentran en los tramos medios y altos de los cauces, requiriendo obras de defensa. Mientras el problema de *los tramos inferiores es la capacidad de desagüe* y evitar las inundaciones, mediante obras de *conservación y mantenimiento adecuadas** (CID-J&M/ 26).

* La obra más completa, hasta ahora, sobre los cauces de los Ríos de la RD es la de **EYSER**.

APÉNDICE 3.2

MEJORAMIENTO DEL CICLO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL BAO: ESTRATEGIAS

Se puede lograr un mejoramiento del ciclo hidrológico de la cuenca del Bao, *un flujo de agua más estable para los ríos y los diferentes arroyos, y garantizar un abastecimiento constante del recurso agua para los diferentes usos para la cuenca*, si se toman las medidas adecuadas para ello. Medidas que implican:

- Implementación de un **programa forestal**, como el Plan de Manejo de la Cuenca del Bao propuesto por Kokusai-Desagro. Programa que permitiría aumentar la masa boscosa en 5,348 ha, y mejorar la protección contra la erosión del suelo por el impacto de las gotas de lluvia¹.
- **Prácticas de conservación de los suelos** que mejorarán la retención y el escurrimiento del agua, al retardar el tiempo de su concentración, disminuyendo la erosión hídrica por el escurrimiento superficial, y aumentando su infiltración y la disponibilidad de humedad para los cultivos.
- **Protección del Parque Nacional**, *deteniendo las invasiones de pobladores* que constituyen un peligro de su destrucción, y ayudando así a la conservación de las fuentes de a en la parte alta de la cuenca. (KDIF/ 277).

¹ **Aumentar la masa boscosa en 5,348ha**, en adición a las 10,447ha de bosque nativo existente. Es decir, aumentar en *un 51.10%* la masa boscosa.

APÉNDICE 3.3

DOS ZONAS PRINCIPALES DE LA CUENCA DEL BAO SEGÚN LA MORFOMETRÍA FLUVIAL

Según el análisis de la morfometría fluvial de la cuenca de Bao, pueden distinguir en ella **dos zonas morfológicas principales**, que tienen influencia en la situación general de las corrientes superficiales y donde el recurso hídrico puede aprovecharse racionalmente¹.

En la zona de la *cuenca alta*, que influye particularmente en los ríos Bao, Jagua y Guanajuma y en menor escala al río Baiguaque, las pendientes de los cursos alcanzan valores del 20 al 30%, especialmente en los cursos menores, produciendo torrentes de gran fuerza erosiva, tanto en el fondo de los ríos como en los bancos de los cauces.

En la *cuenca media*, el curso de los ríos principales se suaviza alcanzando pendientes del 2%, en las partes inferiores. Y *el río Jánico*, que se distingue claramente de las condiciones generales de la red de drenaje presenta pendientes generales que no alcanzan el 2% en su desarrollo general².

Por otra parte, considerados de manera independiente los ríos **Bao, Baiguaque y Jánico** se ve que *poseen características morfológicas similares*. Corren por valles aproximadamente paralelos a los rumbos de los estratos rocosos que les soportan, y los buzamientos de estas rocas tienden a la verticalidad.

Sus redes son relativamente menos ramificadas que las de los otros cauces principales de la zona. Y sus hidrogramas son más suaves que los de los otros ríos.

El curso de los ríos **Bao, Jagua y Guanajuma**, *en su cuenca alta, tienen pendientes similares* entre sí, desde el punto de vista morfométrico. Y similares a la situación que presentaba la cuenca total del Bao antes de la construcción del sistema Bao-Tavera.

Especialmente las de los ríos *Jagua y Guanajuma*. En ambos ríos y en la cuenca, considerada en general, la erosión no ha destruido el patrón de drenaje total. Y sus cauces parecen fluir a lo largo de sistemas rocosos uniformes.

El río Jánico posee características peculiares, distinguiéndose de los otros ríos de la cuenca. Presenta variaciones extremas en su coeficiente de bifurcación y su hidrograma es particularmente suave, indicando una ramificación más baja que la de los otros ríos de la región. Parece que el río fluye a lo largo de un sistema rocoso variable y que su patrón de drenaje no ha evolucionado en forma similar al de los otros ríos de la zona, lo que es comprobable por la geomorfología predominante.

1 **Morfometría fluvial.** Los elementos principales que tiene en cuenta la morfometría fluvial son los cursos fluviales que componen la red de drenaje, las áreas de las cuencas y los gradientes de los cursos,

La cuantificación de Horton, dando a cada curso principal un “Número de Orden” de acuerdo a características específicas permite tener una idea cuantitativa de la capacidad de conducción de los cauces, en relación a otros, y establecer comparaciones entre redes parciales.

El número de Orden de 269 de la cuenca del Bao, las características de los cursos fluviales más importantes (longitud, pendiente y número de orden), y la representación de los ríos de acuerdo al análisis morfométrico, y su análisis sobre los ríos de la cuenca de Bao puede verse en **KDAN 27 18**.

Una explicación de la morfología de los ríos de la cuenca puede verse en el “Anexo No. 7: Control de Sedimentos”, de Kokusai-Desagro. (**KDAN7**).

2 **Cuenca media**, según el “Plano General de Morfometría Fluvial” del Estudio de Kokusai-Desagro. (**KDAN/ 2**).

La acumulación de estos cursos es prematura, indicando altos números de orden desde las partes altas de la cuenca.

Hay **posibilidades de aprovechamiento de los recursos hídricos**, *principalmente hidroeléctricos*, en los ríos Jagua, Guanajuma y la cuenca del Bao, en su totalidad. Mientras que son *escasas las posibilidades de regadío* en las zonas aguas arriba del sistema Tavera-Bao.

Y parece que en la cuenca en general, y en todos y cada uno de sus cauces, *son escasas las posibilidades de retención del recurso hídrico por medio de embalses*, pues serían antieconómicos, como se deduce de los coeficientes del “volumen embalsado” respecto el “volumen del cuerpo de represamiento”.

4. DISPONIBILIDAD Y DEMANDA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA DE BAO (Balance de sus recursos hídricos)

ÍNDICE

<i>Disponibilidad de agua en la cuenca de Bao</i>	<i>96</i>
<i>Demanda de agua en la cuenca de Bao y su área de influencia</i>	<i>97</i>
<i>Aguas subterráneas</i>	<i>104</i>
Apéndices	
<i>Ap. 4.1 Historia del riego en el área de influencia del río Bao (y Yaque del Norte)</i>	<i>107</i>
<i>Ap. 4.2 Servicios y tarifas de riego</i>	<i>109</i>
<i>Ap. 4.3 Proyecto de riego Yaque del Norte (PRYN): Estudios previos.</i>	<i>119</i>
<i>Ap. 4.4 Proyecto de riego Yaque del Norte (PRYN): Implementación.</i>	<i>127</i>
<i>Ap. 4.5 Infraestructura de riego en el valle del Yaque del Norte (1994)</i>	<i>131</i>
<i>Ap. 4.6 PROMAF, PROMASIR y PROMATREC.</i>	<i>135</i>
<i>Ap. 4.7 Los distritos de riego según las consultorías de 1991 y 1996</i>	<i>143</i>
<i>Ap. 4.8 Nueva organización del riego: INDRHI y Juntas de Regantes.</i>	<i>149</i>
<i>Ap. 4.9 El INDRHI según las consultorías de 1991 y 1996</i>	<i>155</i>
<i>Ap. 4.10 Acueducto Cibao Central</i>	<i>165</i>
<i>Ap. 4.11 Acueducto Cibao Central: Varía</i>	<i>171</i>
<i>Ap. 4.12 Aguas subterráneas en la Cordillera Central y el valle del Yaque del Norte .</i>	<i>175</i>
<i>Ap. 4.13 Calidad de las aguas en la cuenca del río Bao</i>	<i>179</i>

DISPONIBILIDAD DE AGUA EN LA CUENCA DE BAO

El **caudal total** promedio aportado por los cinco ríos que desembocan en la cuenca del embalse de Bao, y que constituían la cuenca histórica del río Bao, era de $19.69\text{m}^3/\text{s}$, según los estudios de Harza y la CDE.

Los **caudales mínimos** son en agosto, enero y febrero ($12.83\text{m}^3/\text{s}$), meses que *requieren una operación del embalse de Bao-Tavera y su hidroeléctrica*, más delicada¹.

Y los caudales máximos son en mayo y junio ($30.92\text{m}^3/\text{s}$)².

CUADRO 4.1
CAUDAL DE LOS RÍOS BAO Y YAQUE DEL NORTE
Y SU CAUDAL TOTAL EN TAVERA
(SEGÚN VARIOS ESTUDIOS)

1. V. T. Chow, 1972		
Bao, en Sabana Iglesia		$19.59\text{m}^3/\text{s}$
Yaque del Norte, en Tavera		$20.47\text{m}^3/\text{s}$
Total (1958-1971)		$40.06\text{m}^3/\text{s}$
2. Harza, CDE, 1978		
Bao, en Sabana Iglesia		$19.69\text{m}^3/\text{s}$
Yaque del Norte, en Tavera		$19.92\text{m}^3/\text{s}$
Total (1958-1975)		$39.61\text{m}^3/\text{s}$
3. OEA, 1981		
Bao		$19.32\text{m}^3/\text{s}$
Yaque del Norte		$20.30\text{m}^3/\text{s}$
Total (1958-1978)		$39.62\text{m}^3/\text{s}$
4. Hydrocomp, 1978		
Total ³ (1969-1975)		$43.60\text{m}^3/\text{s}$
5. Coseisa, 1993		
Bao		$21.08\text{m}^3/\text{s}$
Yaque del Norte		$20.38\text{m}^3/\text{s}$
Total (1956-1992)		$41.46\text{m}^3/\text{s}$ ⁴

1 **KOKUSAI-DESAGRO**. Estudio de factibilidad del plan de manejo y conservación de la sub-cuenca del río Bao. Anexo 2^a. Desarrollo hidráulico: subcomponente del contenido del informe del experto Ing. Guillermo Numhauser. Junio 1992. Versión Fase III. Sept. 1993, p. 30.

2 **HARZA**. Proyecto Tavera-Bao: Informe suplementario de factibilidad. Santo Domingo. CDE. Abril 1976. **Tabla 2**.

3 **Total**, caudal entrante a Tavera. Caudales obtenidos usando modelo HSP tipo lluvia escorrentía.

4 **Total $41.46\text{m}^3/\text{s}$** caudal promedio, a la entrada del embalse: de acuerdo a los resultados obtenidos con la simulación en el período de 37 años, comprendidos entre 1956 y 1992.

Simulación de caudales que se hizo porque las series naturales disponibles, con datos continuos, eran limitadas e insuficientes. La simulación se realizó en base a la *revisión de las mediciones hechas en 17 estaciones hidrométricas*, que funcionan y/o funcionaron en lapsos diferentes sobre los ríos Yaque, Bao y sus afluentes principales.

Estaciones hidrométricas sobre los ríos Bao y Yaque del Norte (1993). *Cuenca del río Bao*, nueve estaciones: cuatro sobre el río Bao (Sabaneta, Aguas Calientes, Bao y Sabana Iglesia); dos sobre su afluente, el río Jagua (el Higüero y Pinalito), y tres sobre su afluente el río Guanajuma (Bejucal, el Cerrazo y Guanajuma).

Cuenca del río Yaque del Norte: ocho estaciones: Yaque en Manabao, Pinar Quemado, Boma, los Velazquitos, Tavera, las Charcas, Santiago y la estación en Hato Viejo, sobre su tributario el río Jimenoa, próximo a Jarabacoa.

Parece haber un *número excesivo de estaciones, en comparación con los recursos económicos y humanos disponibles* para responsabilizarse de una correcta operación de la red. Lo que trae como consecuencia un número indeseado de registros faltantes en muchas estaciones y registros inconsistentes de valores aforados, en distintos sitios del mismo río.

COSEISA. Simulación de la operación integrada del sistema hidráulico de la cuenca del río Yaque del Norte: A. Informe sobre los aprovechamientos hidroeléctricos en el PRYN, saltos de Navarrete, Jicomé y Guayacanes. Sept. 1993, pp. 42-49.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

El **aporte hídrico de los cinco ríos** que *desembocan actualmente en el embalse de Bao, y que históricamente componían la cuenca del río Bao*, son los siguientes:

El río Bao aporta un 50% del caudal total de la cuenca. El otro 50% se reparte entre:

Río Jagua	25%
Río Guanajuma	12%
Río Baiguaque	8%
Río Jánico	5%

(según estimaciones, pues se carece de datos confiables).

Caudales de cada río que son un dato clave, aunque no único, para *identificar la factibilidad de proyectos agrícolas y de otra índole en las sub-cuencas concretas*.

Los datos disponibles confirman la división hidrológica de la cuenca del Bao en cuenca alta y cuenca media, *careciendo de una cuenca baja* propiamente dicha, o cuenca de servicio del recurso hídrico.

Confirman asimismo *similitud de los regímenes de los ríos Bao y Jagua, y su marcada diferencia con el régimen de los ríos Guanajuma y Baiguaque*.

Para mejorar la confiabilidad de los datos hidrológicos *se recomendó el restablecimiento, reconstrucción o nueva instalación de estaciones hidrométricas*, en los dos niveles de la cuenca. Incluyendo los dos tipos principales de regímenes fluviales detectados.

DEMANDA DE AGUA EN LA CUENCA DE BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

Las principales demandas de agua en la cuenca de Bao y su área de influencia son las siguientes:

El complejo hidroeléctrico de Tavera-Bao, en el límite de la cuenca, usa 19.5m³/s, año promedio de las aguas del embalse de Bao, y cualquier déficit en este caudal produce dificultades para el buen funcionamiento del complejo hidroeléctrico. Si bien sus aguas después de turbinadas se pueden destinar a otros usos.

El riego, en el área de influencia Tavera-Bao, necesita unos 36.69m³/s⁵.

Y el acueducto Cibao Central deriva actualmente unos 5.5m³/s del embalse de Bao y del contraembalse de López.

La mayor parte del agua almacenada en el embalse de Bao se usa inicialmente para la producción de energía eléctrica (91 %). El agua del embalse de Bao se une a la del Yaque del Norte en el embalse de Tavera por un canal de interconexión a cielo abierto, para su aprovechamiento hidroeléctrico conjunto. Y luego es liberada para riego.

La única *agua que no es turbinada* en la central hidroeléctrica de Tavera es la derivada para el acueducto Cibao Central (3.5m³/s), y la soltada directamente para riego.

El complejo Tavera-Bao-López, capaz de producir 80MW de energía hidroeléctrica (con dos unidades de 40MW c/u), turbinando un caudal promedio de 35.00m³/s, con el agua de los embalses de Bao y Tavera en el nivel mínimo de operación recomendable (315.0m)⁶.

Estudios anteriores a 1985 indicaban que los *caudales que llegaban a Tavera eran de unos 40m³/s*, promedio anual, 2.0m³/s más que los aceptados actualmente.

El caudal ha ido disminuyendo en los últimos años, promediando 33.71m³/s a la entrada de la hidroeléctrica Tavera-Bao, en los siete años comprendidos entre 1985 y 1992, según datos de la CDE⁷.

5 Ver Apéndice 4.1. *Historia del riego en el área de influencia del río Bao (y Yaque del Norte)*.

6 **KOKUSAI-DESAGRO**. Estudio de factibilidad del plan de manejo y conservación de la sub-cuenca del río Bao. Anexo 1. Informe de la Fase I: Análisis sectorial. Versión Fase III. Sept. 1993, p. 16.

7 **KOKUSAI-DESAGRO**. Estudio de factibilidad del plan de manejo y conservación de la sub-cuenca del río Bao. Anexo 2b. Desarrollo hidráulico: informa complementario al informe del experto Ing. Guillermo Numhauser, presentado por el Consorcio Kokusai-Desagro a ONAPLAN. Julio 1992, p. A44.

Y **aguas debajo de Tavera-Bao**, las aguas turbinadas por la hidroeléctrica reciben *múltiples usos: humano, agrícola e industrial*, a lo largo del valle del Yaque del Norte.

Usos que representan una demanda de unos 38.00m³/s (20Mm³ anuales), que comparada con el caudal de Tavera-Bao en los últimos años indica un *déficit de 4.29m³/s* en los últimos años, que no pudo ser satisfecha.

El complejo Tavera-Bao, con su regulación de las aguas del Yaque del Norte y el Bao, *ayuda a optimizar, para los distintos usos, la cantidad y oportunidad de agua* que la naturaleza ofrece cada año.

CUADRO 4.2
GENERACIÓN DE ENERGÍA EN LOS PROYECTOS
TAVERA-BAO Y LÓPEZ-ANGOSTURA⁸

Proyecto	Potencial Instalado (KW)	Generación Anual (KWH)
Tavera-Bao	80,000	185,000,000 60.7%
López-Angostura	18,000	120,000,000 39.3%
Total	98,000	305,000,000 100.0%

Las **prioridades adoptadas para el uso del agua** del embalse de Tavera-Bao son las siguientes, por orden de importancia: 1) acueducto Cibao Central y usos municipales; 2) caudal ecológico, 3) riego, y 4) energía.

Los usos consuntivos no son recomendables en la cuenca, a no ser que sean de escasa magnitud. Y eso, limitando su consumo máximo, por reducción automática de su capacidad de toma, como en Los Montones⁹.

CUADRO 4.3
USO CONSUNTIVO DE LAS AGUAS DEL
COMPLEJO TAVERA-BAO-LÓPEZ

Riego	29.1mcs	75.4%
Acueducto Cibao Central	5.5mcs	14.2%
Total	4.0mcs	10.5%

DEMANDA DE AGUA DEL PROYECTO DE RIEGO YAQUE DEL NORTE (PRYN)

El proyecto de riego del Yaque del Norte (PRYN) constituye la zona de riego en el área de influencia directa del complejo Tavera-Bao/López-Angostura. Abarca unas 45,000ha brutas y se extiende sobre ambas márgenes del río Yaque del Norte¹⁰.

8 **KOKUSAI-DESAGRO.** Estudio de factibilidad del plan de manejo y conservación de la sub-cuenca del río Bao. Anexo 2^a. Desarrollo hidráulico: subcomponente del contenido del informe del experto Ing. Guillermo Numhauser. Junio 1992. Versión Fase III. Sept. 1993, p. 22.

9 **KOKUSAI-DESAGRO.** Estudio de factibilidad del plan de manejo y conservación de la sub-cuenca del río Bao. Anexo 1. Informe de la Fase I: Análisis sectorial. Versión Fase III. Sept. 1993, p. 15.

10 **45,000ha brutas.** El área total irrigable en toda la cuenca del Yaque del Norte es de unas 75,600ha con la tecnología conocida hoy: área del PRYN (26,872ha), Amina (3,600ha), Mao-Guayubín (22,920ha), Bajo Yaque (13,200ha), Villa Vásquez y Botoncillo (6,335ha); La Antona (2,400ha) y Maguaca (800ha).

Superficie irrigable que no es definitiva, pues en el futuro la tecnología, presionada por la expansión demográfica, puede abrir nuevas posibilidades para los suelos regables, desde el punto de vista técnico y económico, llegando a utilizar la mayor parte del potencial de agua, superficial y subterráneo.

El PRYN es área de riego de influencia directa del complejo Tavera-Bao/López-Angostura, de cuyos embalses y contra-embalses recibe las aguas de riego. Aguas que ellos embalsan, pero que son aportadas por el Yaque del Norte y el Bao, casi a 50% cada uno. Y se extiende por las dos márgenes del Yaque del Norte.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

La demanda total de agua en 1993 en esta zona era de unos 29.10m³/s, promedio, para ambas márgenes¹¹.

Se recomendó sustituir el cultivo de arroz en una parte de la margen occidental, y en parte del PRYN II, dado que el cultivo de arroz en forma tradicional daña los suelos, con la sobre-lámina de agua utilizada y el ensalitramiento producido por el re-uso de las aguas de retorno. Sustitución que se haría por cultivos de ciclo anual (mayormente por plátanos y guineos) y cultivos de ciclo corto, a corto y mediano plazo¹².

Las prohibiciones de sembrar arroz fueron temporales. En la parte del PRYN I el cultivo de arroz tenía prohibición de siembra, sin embargo, se han producido algunas violaciones en este sentido en los últimos años.

La demanda de agua “a corto plazo” (año 2000) se esperaba que *bajara a 24.50m³/s*. La *sustitución del arroz permitirá elevar la eficiencia del uso del agua de riego*, logrando una eficiencia total de un 47% en las zonas del PRYN.

CUADRO 4.4
DEMANDA DE AGUA DE TAVERA-BAO
POR ZONAS (1993-2000)

MARGEN	DEMANDA DE RIEGO 1993	EFICIENCIA ESTIMADA			DEMANDA DE RIEGO (Hacia el 2000)
		Conducción (%)	Aplicación (%)	Total ¹³ (%)	
Occidental	6.20m ³ /s	80 ¹⁴	30	24	3.63m ³ /s
Oriental					
PRYN I	4.35m ³ /s	95	50	47 ¹⁵	4.35m ³ /s
PRYN II	18.60m ³ /s	90	30	27	16.52m ³ /s
TOTAL	29.15m³/s				24.50m³/s

Y la **demanda de agua a mediano plazo** se espera se reduzca a unos 22m³/s en el PRYN¹⁶.

Se espera que un futuro cercano habrá una *mayor eficiencia en la aplicación del agua de riego, llegando hasta un 60% mínimo*. Y esto gracias a la aplicación de una mejor tecnología,

11 **1963.** La operación del sistema de la cuenca del Yaque del Norte (-Bao) se visualizaba en tres etapas diferenciada cada una de ellas respecto a la anterior, por la “inclusión de un nuevo complejo de obras de regulación, por el mejoramiento de la eficiencia con que es aplicada el agua de riego, y/o por la eliminación del cultivo del arroz” en zonas determinadas.

En la Etapa I (1993) se operaría el complejo Tavera-Ba/López-Angostura sirviendo al PRYN y al acueducto Cibao Central. En la Etapa II, a “corto plazo”, año 2000, entraría en operación la presa y el contraembalse de Monción, con unos 14.50m³/s, asegurando el riego a unas 15,220ha adicionales (11.50m³/s) y agua potable a varios acueductos de las provincias Santiago Rodríguez, Valverde y Montecristi (2.70m³/s).

Y a largo plazo, año 2015, se añadiría la operación de la presa y la central de Amina (7.63m³/s) de caudal en la presa), con una demanda prevista de 5.70m³/s. Ofrecería riego garantizado a 3,060ha (2.20m³/s). Acueductos, uso industrial y complementar el riego del PRYN (1.0m³/s). Caudal ecológico (1.50m³/s) (11.50m³/s), manteniendo su suministro a los acueductos. El PRYN es área de riego de influencia directa del complejo Tavera-Bao/López-Angostura, de cuyos embalses y contraembalse recibe las aguas de riego. Aguas que ellos embalsan, pero que son aportadas por el Yaque del Norte y el Bao, casi a 50%. Y se extiende por las dos márgenes del Yaque del Norte.

COSEISA, op. cit., pp. 24-27 y 37-40.

12 COSEISA, op. cit., p. 9.

13 **Los estimados de las demandas de riego** según la selección de los patrones de cultivos idóneos para cada una de las zonas agrícolas, las eficiencias en la conducción y aplicación del agua de riego en el campo.

14 **Eficiencia del riego.** En 1996 la *eficiencia de conducción* en la margen occidental (canal M. Bogaert) era más baja (65-70%) que la indicada (80%), según el Departamento de Manejo de Aguas del INDRHI. Y la *de aplicación* no alcanzaba el 20%.

15 **La eficiencia total del PRYN** es de un 47%, muy superior al promedio de sus dos zonas (37%), debido al re-uso, que es del orden de un 40%.

16 COSEISA, op. cit., p. 10.

que existe ya, urgida por la necesidad de disminuir la salinización de los terrenos, y una menor disponibilidad del agua al ser utilizada para acueductos y uso industrial.

Mayor eficiencia que mejorará la *eficiencia total* a un 57%, un 10% mayor que en la situación a “corto plazo”¹⁷.

Resumiendo. La evolución prevista de la demanda de riego del PRYN, es como sigue: pasará de unos 29.10m³/s promedio en 1993, a 24.50m³/s a “corto plazo” (2000), y 22.00m³/s a “medio plazo”.

Y el caudal disponible en toda la cuenca del Yaque del Norte es de unos 86m³/s¹⁸.

CUADRO 4.5
PROYECTO DE RIEGO “ALTO YAQUE DEL NORTE”
PROGRAMA DE PRODUCCIÓN Y PLAN DE RIEGO
CICLO AGRÍCOLA 1994-1995

Cultivo	Superficie (Ha)	Volumen Bruto (Mm ³)	Producción Esperada (Ton)	Precio Producción (RD\$/Ton)	Valor Producción (M RD\$)
Plátano	349	4,576	167,670	1,400	23.48
Yuca	188	2,163	543	600	0.87
Cebolla	58	175	786	38,000	14.15
Arroz	173	3,452	777	8,800	6.84
Maíz	153	1,203	306	4,000	1.22
Habichuela	421	1,005	5,392	20,000	107.84
Sorgo	129	964	517	1,800	0.93
Guineo	124	1,625	5,955	0.7	---
Pasto N.	479	9,398	6,750	10.0	0.07
Pangola	722	14,488	n.d.	n.d.	n.d.
Auyama	3	5	n.d.	n.d.	n.d.
Tabaco	587	3,527	1,022	3,000	3.07
Lechoz	91	80	2,930	5.4	---
Vegetales	105	247	n.d.	n.d.	n.d.
Batata	14	10	54	2,200	
TOTAL	3,596	42,918	192,702		369.86

17 Ver los *Apéndices 4.2-4.9* sobre el proyecto de riego del Yaque del Norte (PRYN) y diversos aspectos técnicos, organizativos e institucionales, que han condicionado históricamente, y aún hoy, el rendimiento óptimo de las aguas del río Bao (-Yaque del Norte) en su área de influencia.

18 **El caudal disponible en la cuenca del Yaque del Norte es de unos 86m³/s** promedio, de acuerdo a la distribución siguiente: ríos Bao y Yaque a la entrada del complejo Tavera-Bao (41.5m³/s), Amina (9.0m³/s), Mao (22.7m³/s), Guayubín (10.7m³/s) y Maguaca (1.7m³/s). Caudales obtenidos en base a la recolección, análisis y homogenización de los registros disponibles de un período de 37 años (1956-1992).

De ellos, unos 69m³/s en promedio circulan por los sitios de los embalses construidos y proyectados: Tavera-Bao (41.5m³/s), Monción (18.6m³/s), Maguaca (1.7m³/s) y Amina (7.5m³/s).

Para una descripción más amplia de los resultados del estudio sobre la Demanda-disponibilidad de agua y áreas de riego previstas para las distintas partes del río Yaque del Norte, ver, op. cit., Zona de riego del PRYN (pp.9-13), Complejo Tavera-Bao y López-Angostura (13-20), Zona de Mao (21-28), Guayubín y ribera occidental del río Yaque del Norte (29-32), Zona del Canal Bajo Baque (33-34), Villa Vázquez y Botoncillo (35-36), Amina (37-40), “Maguaca (41) y el “Resumen” (2-4).

En cada caso se indican las estructuras que entrarán en operación a corto y mediano plazos. Los efectos que éstas tendrán sobre el suministro de agua potable e industrial, el caudal disponible de agua para riego y la cantidad de ha que podrán beneficiarse. La generación hidroeléctrica que permitirá producir y el caudal ecológico que garantizará a su cauce. COSEISA, op. cit. pp. 1-3. Ver Apéndice Servicios y tarifas de riego.

DEMANDA DE AGUA DEL ACUEDUCTO CIBAO CENTRAL

El acueducto Cibao Central entró en operación a finales de 1991, con el **propósito** de *proporcionar agua potable a las ciudades de Santiago, Moca y 52 comunidades rurales, en los próximos veinte años.*

Supone un uso consuntivo del recurso hídrico superficial de la cuenca del río Bao y Yaque del Norte.

Se propusieron **dos alternativas** para su realización:

1. Extracción del agua del embalse de Bao, directamente por gravedad.
2. Y derivación por bombeo del contraembalse de López-Angostura.

La demanda total proyectada fue de $5.50\text{m}^3/\text{s}$, a extraerse:

- Desde el embalse de Bao: $3.50\text{m}^3/\text{s}$ por gravedad, a través de una tubería de 13km de longitud. La derivación se hace por dos tomas ($1.00 \times 2.00\text{m}$ cada una), ubicadas en las cotas de 316.50 y 306.50m del embalse de Bao. Y hay posibilidad de instalar una micro-turbina para aprovechar la energía turbinando el caudal circulante antes de su conducción al acueducto.
- Y desde el contraembalse de López, $2.0\text{m}^3/\text{s}$ por bombeo, usando ocho bombas. La altura total de bombeo es de 75m, desde el contraembalse hasta el nivel piezométrico de inyección del agua en el acueducto.

El **acueducto de Santiago**, propiamente dicho, consume unos $4\text{m}^3/\text{s}$ diarios, un 73% de los $5.50\text{m}^3/\text{s}$ derivados de las aguas del embalse de Tavera-Bao y López-Angostura para el acueducto del Cibao Central.

Y el $1.5\text{m}^3/\text{s}$ restante es usado por los acueductos de Moca y comunidades intermedias.

El acueducto Cibao Central **afectará la disponibilidad de agua para riego** de las aguas de Tavera-Bao, ya que el caudal a extraerse deriva aguas arriba de la presa derivadora del Yaque del Norte¹⁹.

Y también **afectará la producción de energía eléctrica**, ya que la extracción de $3.5\text{m}^3/\text{s}$ de agua del embalse del Bao, aguas arriba de la hidroeléctrica de Tavera-Bao, representa una *disminución de un 8.75 en el caudal* para la producción hidroeléctrica. Caudal que, por otra parte, tampoco será utilizable para riego o uso industrial.

Los $2\text{m}^3/\text{s}$ que se extraen de López fueron turbinados previamente en la central hidroeléctrica de Tavera.

19 Ver el Apéndice 4.10: Acueducto Cibao Central.

DEMANDA DE AGUA DEL CAUDAL ECOLÓGICO

En 1976 se estimó en $4.00\text{m}^3/\text{s}$ el caudal ecológico, de aguas limpias, que conviene dejar circular por el lecho del río Yaque del Norte a partir del tramo aguas abajo del desagüe de la central de Angostura hasta aguas abajo de la ciudad de Santiago, y que debería continuar circulando, con la mínima reducción posible²⁰.

Durante la temporada de huracanes se recomienda mantener la cota del embalse igual o inferior a los 320m/snm, extrayéndose del embalse Tavera-Bao el caudal que sea necesario.

COMPORTAMIENTO PREVISTO DEL EMBALSE TAVERA-BAO EN LA SATISFACCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA EN SU ÁREA DE INFLUENCIA

Situación 1993

- La derivación de un caudal para el acueducto Cibao Central desde el embalse de Bao ($3.50\text{m}^3/\text{s}$) puede garantizarse durante todo el año.
- El caudal requerido para satisfacer la demanda de riego del PRYN ($24.50\text{m}^3/\text{s}$) y el caudal ecológico ($4.0\text{m}^3/\text{s}$) están garantizados en un 90% del tiempo.
- Una generación en la central hidroeléctrica de Tavera de 256Gwh/año promedio y en López de 102Gwh/año. Y el nivel de los embalses será: en Tavera-Bao, de 319.5m/snm como promedio, y en el contraembalse de López, 219.56m.

A “corto plazo” (2000)

- La demanda del acueducto Cibao Central ($5.50\text{m}^3/\text{s}$) se satisface todo el tiempo.
- La demanda combinada del caudal ecológico ($4.0\text{m}^3/\text{s}$) y la demanda para riego en el PRYN ($24.50\text{m}^3/\text{s}$) queda satisfecha en el dique derivador de Santiago durante el 85% del tiempo. El caudal aportado es superior al requerido en el 50% del tiempo. Si bien la demanda no se satisface en su totalidad en un 15.51% del tiempo.
- El agua de Tavera-Bao permitirá una generación eléctrica en la central de Tavera de 244.5Gwh/año promedio, y en la central López-Angostura, de unos 100Gwh/año. Y el nivel de los embalses será, en Tavera-Bao, de 319.95m, nivel promedio, y en el contraembalse de López, de 219.37m.

²⁰ **$4.00\text{m}^3/\text{s}$ de caudal ecológico.** El caudal ecológico es el caudal mínimo que debe circular por el lecho de un tramo de río para garantizar la degradación de los residuos o desechos industriales y municipales y permitir otros usos, aguas recreativas, por ejemplo, río abajo.

Los caudales ecológicos requeridos para otros tramos de la cuenca del Yaque del Norte, son los siguientes: río Yaque del Norte, aguas abajo de Santiago: $3.0\text{--}4.0\text{m}^3/\text{s}$; río Mao, aguas debajo de Chorrera, $1.10\text{m}^3/\text{s}$; y, río Amina, aguas debajo de Potrero, $1.0\text{m}^3/\text{s}$.

El caudal ecológico del Yaque del Norte, *aguas abajo de Santiago, debe ser mayor que $4.03\text{m}^3/\text{s}$* , según el Departamento de Manejo de Aguas del INDRHI, dado que el agua de retorno del río arrastra una elevada cantidad de sales disueltas (0.16gr/l en Santiago, y 1gr/l frente a Navarrete).

Los desechos pueden ser de cuatro tipos: 1) *degradables*, que se alteran o desaparecen en presencia del agua al exponerse a procesos físicos y biológicos, restando oxígeno del agua para finalmente convertirse en inocuos. La calidad del efluente puede medirse por la cantidad de oxígeno disuelto (DBO), base sobre la cual se establece el tipo de tratamiento para reducir sus efectos desfavorables. El agua que circula por un tramo del río debe tener el volumen de oxígeno necesario para que, una vez mezclada con el efluente ya tratado, posea un nivel de calidad adecuado.

2) *No degradables*, que se no se alteran por procesos físicos o biológicos y se miden por su concentración en las aguas, por ejemplo, el ion sodio. 3) *Desechos tóxicos*, que tienden a incrustarse en los tejidos de las plantas y animales, y están presentes en los plaguicidas, en los efluentes químicos sintéticos y en los materiales radioactivos. Y, 4) *físicos*. Dentro de estos están los térmicos, los cuales afecta directamente a los peces y a las plantas.

COSEISA, op. cit. p. 51.

DEMANDA DEL AGUA DE TAVERA-BAO FUERA DE SU ÁREA DE INFLUENCIA INMEDIATA

Zona de Villa Vázquez y Botoncillo. Su *área de riego* comprende unas 7,365ha brutas, situadas en la margen oriental del río Yaque del Norte.

Está *servida por el canal de Villa Vázquez, que deriva sus aguas del río Yaque del Norte*, aguas debajo de su confluencia con el río Guayubín, y su canal principal tiene una capacidad de conducción de 12.0m³/s.

El riego de la zona de Villa Vázquez y Botoncillo se surte de diversas aguas aportadas por:

- 1) *El río Yaque del Norte* (aguas regadas y liberadas por el complejo Tavera-Bao/López-Angostura).
- 2) De los *caudales no usados* de los ríos Amina, Mao y Guayubín; y
- 3) De los *retornos de las aguas usadas para riego*, que afluyen al río Yaque, aguas arriba de la bocatoma del canal, procedentes de los sistemas de riego antes mencionados.

La *demanda de riego era de unos 8.0m³/s* en esta zonas, en la “situación actual” (1993). Y tiene las típicas deficiencias periódicas características de los sistemas que no se alimentan con agua regulada²¹.

DEMANDA Y USOS COMPETITIVOS: PRESENTE Y PROYECCIÓN FUTURA

Cuatro instituciones usan las aguas de la cuenca del río Bao, a través de Bao y Tavera-Bao: la CDE, el INDRHI, INAPA y CORAASAN.

En la actualidad no **existe competencia mayor por el uso del agua entre dichas instituciones**, salvo la indicada del acueducto Cibao Central y la CDE²².

La CDE y el INDRHI, por su parte, se coordinan para el uso del agua del proyecto, dentro de las prioridades del gobierno. Usan el agua de los ríos en distintos tiempos y espacios, sin entrar en competencia, lo que se facilita, porque el uso del agua por parte de la CDE es “no consuntivo”, y el INDRHI *aprovecha el recurso hídrico para el riego después que la CDE lo ha utilizado para la producción hidroeléctrica*.

CORASAN (Acueducto Cibao Central) deriva parte del agua que usa del embalse de Bao (3.5m³/s), “sin turbinar”, con lo que *disminuye en un 6.25% en el caudal y producción hidroeléctrica de Tavera*, como ya dijimos. Y parte después de ser turbinada, en Tavera y López-Angostura (2.0m³/s).

INAPA usa el agua derivándola del río Yaque del Norte, principalmente, después de la presa de Tavera, si bien en cantidad mucho menor que la utilizada por el INDRHI y la CDE.

Pero, en el futuro, **puede darse una competencia entre el INDRHI e INAPA**

- *de mantenerse el caudal promedio anual de 33.71m³/s de entrada a la presa de Tavera-Bao* registrado en el período 1985-1992, o que continúe disminuyendo en los próximos años;
- *o que la población aguas debajo de la presa siga creciendo y demandando mayor cantidad de agua.*

21 **El canal de Villa Vázquez** riega unas 5,800ha netas en la actualidad (1993). De ellas, el 70% está destinado al cultivo del arroz. Y al igual que en los restantes sistemas antiguos de este tipo, *la eficiencia en el uso del agua es muy baja, un 26% (85% en la conducción y 30% en la aplicación en campo)*.

Las previsiones de la demanda de agua y sus fuentes de suministro, a corto y mediano plazo, pueden verse en op. cit., pp. 35-36.

22 **Competencia entre el acueducto Cibao Central y la CDE.** El acueducto extrae 3.5m³/s de Bao sin ser turbinados y producir la energía eléctrica consiguiente. Precio que hay que pagar para garantizar *agua para consumo humano* en el Cibao, de ahí que le diera uso prioritario.

Uso que tendrá una *gran importancia para mejorar la salud* de su población, al reducir notablemente las enfermedades por contaminación de las aguas del río Yaque del Norte, por la descarga de las aguas residuales de las ciudades y de los desechos industriales.

Y el INDRHI **tendrá que disminuir el caudal usado para riego**, haciéndolo más eficiente, para que parte de sus aguas puedan dedicarse para acueductos y uso industrial.

Dentro de veinte años (2012) el caudal de uso doméstico, aguas abajo de la presa, puede superar los 4.0m³/s, teniendo en cuenta la demanda de la población de Mao, Montecristi y otros sectores²³.

AGUAS SUBTERRÁNEAS

La cuenca del río Bao es pobre en aguas subterráneas, de acuerdo a la información disponible y a los pocos pozos explotados. Y en comparación con la región hidrogeológica a la que pertenece la Cordillera Central.

En base a la información disponible y al análisis de la geología regional, es posible describir la *situación probable de la hidrogeología de la zona*, del modo siguiente.

Zona alta y media de la cuenca. *Las posibilidades de formación de acuíferos importantes son muy bajas*, ya que la mayor parte de las rocas que afloran en la zona son rocas impermeables. La cuenca se extiende principalmente por una geología en la que un débil rellano yace sobre rocas ígneas y metamórficas, con predominio de las primeras.

Pueden encontrarse *acuíferos de explotación limitada* en zonas localizadas en fracturas, cauces aluviales y estratos semipotentes de meteorización. Y su función queda reducida a dotar de un limitado suministro de agua a pequeños núcleos de población dispersos en la zona de la cuenca alta y media.

Acuíferos de importancia podrían ser explotados solo en regiones donde la acumulación de sedimentos lacustres, confinados por otras formaciones menos permeables, permitan infiltraciones importantes así como la formación y permanencia de acuíferos de consideración. Este es el caso de regiones fuera de la cuenca, como Jarabacoa y Santiago²⁴.

No se indican sectores para el desarrollo de aguas subterráneas en la cuenca media y alta, para su explotación racional, dados los pocos datos existentes y el hecho de haber pocas probabilidades de encontrar acuíferos de importancia en las mismas. La única posibilidad, en caso de necesidad, será explotar en muy pequeña escala pozos de poca profundidad y rendimientos muy bajos para dotación de agua potable a la reducida población rural que permanezca en la zona.

Zona baja de la cuenca. *La explotación del agua subterránea puede ser de consideración*, concretamente cerca de Jánico y principalmente en la zona de los aluviones recientes. Convendría hacer pruebas de bombeo para determinar con exactitud los parámetros hidrogeológicos pertinentes a la zona. Pozos profundos, que sobrepasen la formación impermeable de la zona baja, podrían tener rendimientos rentables.

Conclusión. La geología de la zona y la forma probable de recargarse el acuífero, no dejan esperar rendimientos de los pozos, salvo para agua potable. Rendimientos que no permiten esperar *que el consumo actual de agua potable, en base a aguas superficiales, pueda sustituirse por el de aguas subterráneas*²⁵.

CALIDAD DE LAS AGUAS

La calidad de las aguas es un **dato clave para su uso**. Lo importante no es sólo la cantidad, sino la cantidad y calidad del agua disponible. Sólo así se pueden satisfacer adecuadamente las necesidades de agua para uso doméstico, agrícola e industrial.

23 KOKUSAI-DESAGRO. Estudio de factibilidad y plan de manejo y conservación de la sub-cuenca del río Bao. Anexo 2A. Desarrollo hidráulico: subcomponente del contenido del informe del experto Ing. Guillermo Numhauser (unió 1992). Versión Fase III: sept. 1993, pp. 13-15.

Ver APÉNDICE Acueducto Cibao Central.

24 KOKUSAI-DESAGRO, op. cit., pp. 35-39.

25 Ver el Apéndice 4.11: Aguas subterráneas en la Cordillera Central y el valle del Yaque del Norte.

La medición formal de los parámetros de la calidad de las aguas en la cuenca de Bao es algo que se comenzó recientemente y está tratando de normalizarse.

La calidad de las aguas en la cuenca de Bao **varía con la situación geográfica de la zona** de extracción, distinguiéndose *dos zonas* principales en la cuenca²⁶:

- la calidad de las aguas es *aceptable en la cuenca alta y media*, donde no son casi afectadas por los residuos de otros usos del recurso
- mientras que en *aguas abajo de la cuenca del embalse Tavera-Bao* (por debajo de los 200m snm) se puede esperar contaminación, al recibir aguas usadas para consumo humano, agropecuario e industrial. Y no digamos en las zonas aguas abajo de Santiago, donde la población, la agropecuaria y las industrias son más abundantes y están en crecimiento.

Uso posible. Sus aguas *pueden usarse para acueductos directos de poco tratamiento, en las regiones altas de la cuenca.*

Pero, aguas debajo de los embalses de Bao y Tavera la purificación debe ser intensa.

El **INDRHI** ha tomado *muestras y ha realizado pruebas de laboratorio* determinando la calidad del agua para riego en múltiples puntos del río Yaque y sus afluentes, en diversos períodos. Y en consecuencia, ha establecido los patrones de cultivos más convenientes para cada área agrícola.

Y ha determinado la demanda total de riego, tanto de los requerimientos consuntivos como los necesarios para el “lavado de sales” en aquellas zonas donde esta práctica debe aplicarse. Demanda total de riego que fue adoptada para las bocatomas de los canales respectivos.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y LA INFRAESTRUCTURA DE RIEGO DE SU ÁREA DE INFLUENCIA

La cuenca del río Bao, como toda cuenca hidrológica, tiene unos límites geográficos muy concretos, que se reducen en su caso a 864km² en la parte norte de la Cordillera Central, al SO de Santiago. Pero, no toda el agua del río Bao se usa en la cuenca del Bao. Su uso para riego y acueductos se lleva a cabo, casi totalmente, fuera de la cuenca histórica del río Bao. Y lo mismo digamos de su producción hidroeléctrica, que se exporta al resto del país.

La importancia de la cuenca del río Bao para el desarrollo de la República Dominicana, hidrológicamente hablando, se origina en la cuenca de Bao, pero sus beneficios se materializan y condicionan fuera de la misma, en su zona de influencia.

El río Bao, históricamente considerado, sus aguas no dejan de existir cuando traspasan los límites de su cuenca y se funden a 50% con las del río Yaque del Norte. A través de los acueductos y de los canales de riego (principales, secundarios, terciarios y cuaternarios) realizan su servicio al país. Servicio que ha sido, es y será mayor o menor a lo largo de la historia, según las características de los mismos, del manejo del agua a nivel de finca y otros servicios complementarios, así como de las instituciones y modelos organizativos que los promocionan, en el caso concreto de la agricultura.

De ahí que en este libro sobre la cuenca del río Bao hayamos incluido el estudio de su área de influencia, dedicando algunos de sus apéndices a un mejor conocimiento de la misma, a fin de conocer mejor el servicio que el río Bao, como generador de aguas, da al desarrollo del país. Y los condicionantes que han limitado y limitan en la actualidad su servicio al mismo²⁸.

26 **KOKUSAI-DESAGRO**, op. cit., pp. 40-42.

27 Ver el Apéndice 4.12: Calidad de las aguas de en la cuenca del río Bao.

28 **Apéndices** que incluyen: Historia del riego en el área de influencia del río Bao (y Yaque del Norte); Servicios y tarifas de riego; Proyecto de riego Yaque del Norte (PRYN); estudios previos e implementación; Infraestructura de riego en el valle del Yaque del Norte (1994). “PROMAF, PROMASIR y PROMATREC”.

El estudio de los distritos de riego según las consultorías de 1991 y 1996, lleva a una nueva organización del riego: INDRHI y juntas de regantes. Lo que implica una reformulación de la misión y funciones del INDRHI, recogiendo las recomendaciones en ese sentido en el Apéndice “El INDRHI según las consultorías de 1991 y 1996”.

APÉNDICE 4.1

HISTORIA DEL RIEGO EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL RÍO BAO (Y YAQUE DEL NORTE)¹

Una de las primeras regolas del río Yaque del Norte, se construyó en Santiago. Y para finales del siglo XIX, eran numerosas las regolas que estaban funcionando, si bien no hay datos concretos sobre las mismas.

A principios del siglo XX se construyó el primer canal de riego propiamente dicho, en Santiago (Benegas), por el Ing. Tomás Taveras. Y, años más tarde, con la llegada al país del Ing. Luis Bogaert, se intensificó el aprovechamiento de las aguas para riego, construyendo un pequeño canal con toma en el río Mao, para irrigar terrenos de su propiedad.

Con este canal se inició un ensayo de cultivos de arroz, que dio tan buenos resultados que llamó la atención de los agricultores de Mao, que se organizaron en una Sociedad de Regantes (1907) y contrataron los servicios del agrónomo Carlos Mejía para la construcción de un canal, que culminó con resultados satisfactorios. Este mismo año el Estado votó la primera asignación presupuestaria para el estudio de una obra de riego en el país, para los estudios topográficos del canal de Villa Vásquez. Y de 1910 es el primero informe de riego sobre la provincia de Montecristi, el más antiguo del que tenemos copia².

En se creó la primera Oficina Nacional de riego, la “Oficina Técnica de Irrigación” para dirigir el desarrollo de proyectos de riego a gran escala, ubicándose en Juan Gómez (Guayubín), y siendo dirigida por los Ing. Luis Bogaert, José Luna y el agrimensor Carlos Mejía. El primer canal que construyó dicha oficina estatal fue el canal de Villa Vásquez, cuyos estudios topográficos existían ya desde 1907. Poco después se iniciaron los trabajos para la construcción del canal de la Herradura, en el cruce de Dicayagua, en Santiago (1925), la construcción de los laterales del canal de Villa Vásquez (1926) y la terminación del canal Santiago-Amina³.

Los canales Yaque del Norte, la extensión del canal de la Herradura, el Navarrete y el Mao-Gurabo, se construyeron en 1937. Año en que se entregó a la Secretaría de Estado de Agricultura (SEA) el proyecto completo de levantamiento topográfico de la región al norte del río Yaque del Norte, entre el Ingenio de Villa González hasta Laguna Salada.

En 1939 el Ing. Luna escribió un informe a la SEA para proteger las aguas del Yaque del Norte y sus afluentes, proponiendo la creación de un distrito central de conservación de montes y aguas, cubriendo toda la zona interior de la Cordillera Central, unas 223ha, y dos años después, presenta

1 **Historia del riego en el área de influencia del río Bao (y Yaque del Norte).** Como hemos dicho anteriormente, el río Bao aporta casi el 50% del caudal del Yaque del Norte, después de su confluencia con el mismo.

El área de influencia inmediata y máxima de la aguas del Bao, juntamente con las del Yaque del Norte, propiamente dicho, es hasta que se le suman a este último las aguas del río Amina y Mao. No existen estaciones de aforo, antes y después de recibir las aguas de estos últimos ríos, por lo que no se sabe el aporte real y porcentual de las aguas conjuntas de los ríos Bao y Yaque del Norte a las tierras irrigadas aguas abajo.

Y posteriormente se les unen Isa del Guayubín y Maguaca, por solo mencionar los principales.

2 **CASTRO CATRAIN, Francisco.** Boceto historia del desarrollo de los recursos hídricos en República Dominicana, op. cit., pp. 1-2.

MANN, J. L. Informe sobre el proyecto de irrigación de la provincia de Montecristi (1909). En la Memoria que al ciudadano presidente de la República presenta el Secretario de Estado de Fomento y Comunicaciones, Santo Domingo, 1910, pp. 31-92. Concluye que puede dar riego a 2,135ha.

3 Op. cit., pp.2-4

su informe sobre el río Yaque del Norte. En el mismo año de 1939 llegan al país los ingenieros españoles José y Félix de los Ríos, y con ellos se comienza a estudiar con base científica nuestro potencial hidráulico⁴.

La Grenada Co., subsidiaria de la United Fruit Co., adquirió grandes extensiones de tierras en ambos márgenes del río Yaque del Norte para dedicarlas a la siembra de guineos en gran escala, y realizó varios estudios para el desarrollo bajo riego de sus terrenos. Estudió cuatro alternativas de presa en el río Yaque del Norte y posteriormente se decidió por un sistema de riego por bombeo.

El año 1956 marcó un hito en los estudios sobre presas de regulación en el río Yaque del Norte con la presentación por parte de Mendoza-Armenteros de su Estudio hidráulico del río Yaque del Norte y sus afluentes Jimenoa, Bao y Mao. Y, poco después, el Proyecto definitivo del aprovechamiento múltiple del río Yaque del Norte, sitio de Tavera (1959). Proyecto que no se materializó entonces por las circunstancias políticas y económicas del país.

Posteriormente se negoció su construcción con la firma sueca VBB (1961), sin que se convirtiera en realidad debido a la inestabilidad política reinante. Y, en 1963, el consorcio suizo Overseas International LTD ofreció financiamiento para su construcción, siendo aprobado por las dos cámaras del Congreso, contra el consejo de sus asesores y de instituciones internacionales, por oneroso. Contrato que no llegó a materializarse, debido al golpe de Estado que derrocó al gobierno en septiembre de 1963⁵.

Finalmente, en 1969, el Gobierno de la República Dominicana (GORD) llegó a un acuerdo con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) para el financiamiento de la presa de Tavera, obra que concluyó en 1973. Años más tarde se terminarían la presa de Bao (1984) y el contraembalse de López-Angostura (1986). Obras que permitieron regular los caudales de los ríos Yaque del Norte y Bao, hasta su confluencia, optimizando el uso de los mismos para riego y generación hidroeléctrica.

4 **Cuatro alternativas de presa:** 1) en el río Yaque del Norte (en las cercanías del pueblo de López), 2) sobre el río Mao, 3) sobre el río Guayubín, y 4) sobre el poblado de Sanita. Este último fue considerado el más atractivo de los proyectos de almacenamiento desde el punto de vista técnico y económico.

Ingenieros españoles. A ellos se deben los primeros ensayos y anteproyectos de aprovechamiento múltiple de las fuentes fluviales, entre los que se encuentran Yavera en el río Yaque del Norte, Valdesia en el río Nizao, y Madrigal en el río Haina. Y con ellos se descubrieron las palabras embalse, regulación, salto hidroeléctrico, etc., que eran poco utilizadas hasta entonces en nuestro ambiente.

5 **1956.** Se forma también la "Comisión para el estudio de la defensa de las cabeceras de los ríos Bao y sus afluentes en las comunas de Jánico y San José de las Matas", op. cit., pp. 4-21.

APÉNDICE 4.2

SERVICIOS Y TARIFAS DE RIEGO

PROYECTO DE RIEGO DE MONTECRISTI (1909)

En 1909 en el área de Montecristi la tarifa de riego era de unos 15¢/ta, lo que daba derecho a 0.50m³. Y quien deseara más agua, se le suministraba con una tarifa adicional de 20¢ el m³/ta.

Pero, el Ing. Mann defendía en su Informe sobre el proyecto de irrigación de la provincia de Montecristi, que la tarifa del agua debía cubrir los gastos de funcionamiento del sistema, así como el interés del capital invertido en su construcción, si el proyecto de riego iba a ser rentable. Y proponía cobrar 25¢/ta, como promedio, para empezar, si bien él prefería que se cobrase a cada usuario el valor del agua recibida, logrando así una mayor economía de agua y una mayor equidad para los usuarios¹.

Y recomendaba que a todos los terrenos servidos por los canales y propios para explotaciones agrícolas, aunque no hiciesen uso del agua, se les cobrase un mínimo de 12¢ por tarea, para la amortización de los intereses del proyecto, puesto que ese dinero fue gastado para servir también a esos terrenos.

ESTUDIO DE MENDOZA-ARMENTEROS (1956)

Mendoza-Armenteros, en su Estudio sobre la posibilidad de incrementar en 30,000ha los riegos del río Yaque del Norte con la construcción de embalses reguladores (1956) concluye que los capitales invertidos en la construcción de la presa de Tavera pueden amortizarse con la aplicación de un canon de RD\$10.4/ha regada y 7.5¢/kw producido².

LEY SOBRE DOMINIO DE AGUAS (1962)

La Ley No. 5852, de 1962, sobre Dominio de Aguas Terrestres y Distribución de Aguas Públicas fue promulgada por el Consejo de Estado. Establece que el agua se considera como de propiedad pública, y que corresponde al INDRHI el mantenimiento y operación de los sistemas de riego estatales, así como la concesión de los permisos para el uso de los caudales superficiales y de las aguas freáticas, tanto para fines domésticos como industriales y agrícolas. Permisos que deben ser renovados en noviembre de cada año, estando sujetos a las tarifas siguientes, en función del agua y del tipo de riego.

Al arroz se le cobra el doble porque requiere dos litros de agua/s-ha, mientras que los frutos menores únicamente necesitan un litro/s-ha. Y se fija una penalización por cada mes de atraso de un 2% de interés, con un máximo de 10 meses (20%)³.

1 **MANN, J. L.** Informe sobre el proyecto de irrigación de la provincia de Monte Cristi (1909), en la Memoria que al Ciudadano Presidente de la República presenta al Secretario de Estado de Fomento y Comunicaciones. Santo Domingo, 1910, pp. 31-92.

2 **MENDOZA-ARMENTEROS.** Estudio sobre las posibilidades de incrementar en 30,000ha los riegos del río Yaque del Norte mediante la construcción de embalses reguladores. Santo Domingo. 1956. Op. cit., pp. 11-12.

3 **Tarifas del agua de riego** que debían ser recaudadas por el INDRHI en todos los distritos de riego, entidad que no está autorizada a modificar estas tarifas ni a ajustarlas a los costos de operación y mantenimiento, sin permiso del Poder Ejecutivo.

PICHARDO, Jesús María. Informe final de consultoría en distritos de riego. PRODAS-INDRHI. Santo Domingo. Abril 1966, p. II, 7.

CUADRO AP 4.2.1
TARIFAS ANUALES DE RIEGO (1962)

Riego Corriente Frutos Menores		Inundación Arroz	
Área (ha)	Tarifa (RD\$)	Área (ha)	Tarifa (RD\$)
1 – 10	2.50/ha	1 – 10	5.50/ha
Más de 10	5.50/ha	Más de 10	11.50/ha

CREACIÓN DEL INDRHI (1965)

El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI) fue creado en 1965 como la autoridad nacional de aguas y organismo gubernamental para la irrigación del país. Fue creado como entidad estatal autónoma y se proyectó como económicamente autosuficiente, en gran parte de sus funciones. Pero, los fondos disponibles, las tarifas cobradas y los subsidios supletorios del Gobierno, fueron inadecuados a lo largo de su historia para la construcción, operación y mantenimiento de un adecuado servicio de riego⁴.

TARIFAS

CONDICIÓN PARA UN PRÉSTAMO DEL AID (1966)

En 1966 las tarifas vigentes eran demasiado bajas para permitir una conservación adecuada del sistema de riego, incluso con la subvención que el INDRHI recibía del Gobierno para sus actividades de operación y mantenimiento.

Por lo que el AID, al conceder un préstamo para obras de mejora de riego, puso como condición que se aprobara una nueva ley de tarifas para el agua, mediante un programa en tres fases, para aumentar estas tarifas y permitir una operación y mantenimiento más adecuados de las obras de irrigación del país.

La primera fase establecía una tarifa básica de RD\$2.50/ha para las parcelas menores de 10ha, y de RD\$5.50 para las mayores. En la segunda fase, al año siguiente, se duplicarían las tarifas básicas. Y en la tercera fase, al año siguiente, se duplicarían las tarifas del año anterior. Y las tarifas del arroz serían el doble de las establecidas para otras cosechas.

Una ley aprobada en julio de 1966 dio asentimiento general al programa, pero solo se promulgó el decreto de la primera fase.

ESTUDIO DE LA SOGREAH (1968)

La Sogreah, en su Estudio de viabilidad para un primer desarrollo de la cuenca del Yaque del Norte (1968), sin regulación de éste, afirma que si se hubiera puesto en vigor el programa recomendado por el AID, se habría establecido el sistema de tarifas de riego más adecuado de toda la historia de la República Dominicana hasta la fecha. Y el ingreso anual para operación y mantenimiento podría ser de unos RD\$460,000, a partir del séptimo año⁵.

Según dicho estudio, en los últimos años el subsidio al cultivo del arroz había costado al Gobierno unos RD\$800,000 anuales en la zona del proyecto, y más cuando había producción extraordinaria. Mientras que con el proyecto de riego propuesto, y la asistencia técnica consiguiente, se podía incrementar el rendimiento de la producción de arroz, y su subsidio podría ser interrumpido, con un ahorro de más de RD\$1M, justificando ampliamente la participación del Gobierno en los

⁴ **Creación del INDRHI** por la Ley No. 6 del 8 de septiembre de 1965.

⁵ **SOGREAH.** El Gobierno de la RD (GORD) solicitó financiamiento del PNUD para hacer un estudio preliminar de viabilidad de un proyecto de riego en la cuenca del Yaque del Norte. Dicho organismo internacional delegó en el BIRF que, de acuerdo con el GORD, escogió a SOGREAH para realizarlo.

pagos del proyecto de riego. Y, por otra parte, el Gobierno obtendría también otros beneficios en la economía de la zona, con mejora en la balanza comercial, aumento de la renta nacional, y elevación del nivel de vida de los agricultores.

Recomendó fijar las tarifas en base al volumen de agua gastada, derivada del canal, en vez de por hectárea, yendo hacia unas tarifas que proporcionen suficientes ingresos para cubrir los gastos anuales. Y recomendó, para una etapa posterior, un impuesto especial para recuperar parte de la inversión, con objeto de rehabilitar y ampliar el sistema de riego y drenaje. Contribución que cubriera una parte importante de los gastos anuales de crédito extranjero, suprimiéndole una vez cancelado el mismo⁶.

PRESA DE TAVERA Y NUEVO ESTUDIO DEL PROYECTO DE RIEGO DEL YAQUE DEL NORTE

Al decidir el Gobierno la regulación del río Yaque del Norte, con la construcción de la presa de Tavera hubo que volver a estudiar el proyecto de riego. Y el BIRF-AIF como cofinanciadores volvieron a exigir, para concederlo, la incorporación en el convenio de unas condiciones relativas a la implementación de las tarifas de riego, que facilitarían la adecuada operación y mantenimiento del proyecto, y la amortización de las inversiones realizadas en el mismo, sin ser carga innecesaria para el Estado, ni gravar su deuda externa⁷.

ESTUDIO DE CIEPS (1970)

CIEPS recomendó también una tarifa que todos los parceleros debían pagar por todos los costos de la operación, mantenimiento y asistencia técnica del servicio de riego, a partir del quinto año de la explotación de su parcela.

Tarifa que sería en dos cuotas: una fija, de RD\$7.50/ha-año, que debería pagar todos los usuarios de las 40,000ha netas del distrito de riego, independientemente de que utilizaran o no el servicio de riego, y otra variable, de acuerdo con el volumen consumido (RD\$1.50/1000m³). Sistema que parecía ser el más equitativo y que, por otra parte, ayudaría a hacer un uso más racional del agua, evitando su desperdicio. Los cánones serían diferenciales, pagando las parcelas menores una fracción de la cuota media, mientras que las parcelas mayores pagarían un canon superior.

El estudio concluyó que todos los parceleros verían incrementado sustancialmente su nivel de vida. Los ingresos agrícolas netos oscilarían entre RD\$1,200 y 15,000 anuales, según las características de las parcelas: extensión de la finca, productividad del suelo y rotación de los cultivos. Los ingresos agrícolas a pleno desarrollo, se han calculado una vez deducidos los costos de operación y mantenimiento del sistema de riego, en los siguientes⁹.

6 Op. cit. Vol. IV, pp. 125-128.

7 **BIRF-AIF, cofinanciadores.** de US\$26M, el 67% de la inversión requerida, entre las dos instituciones.

Las principales condiciones que puso el BID fueron: 1) realizar un estudio para fijar un sistema equitativo de tarifas en el futuro distrito, teniendo en cuenta todos los elementos técnicos, legales y administrativos, para una recuperación total de los costos de operación y mantenimiento; 2) que el prestatario presentase una propuesta concreta sobre tarifas, su calendario y modalidad de cobro, en base a dichos estudios; 3) que las conclusiones de dicho estudio fuesen examinadas juntamente con la Asociación de Regantes, y que las tarifas del agua que se acordaran fuesen aplicadas en la zona del proyecto; 4) determinar la proporción de los costos de inversión que pudieran recuperarse, razonablemente, de los agricultores, teniendo en cuenta las características de sus parcelas; 5) que el manejo del embalse de Tavera fuese tal que se garantizara agua suficiente para que se pudiese satisfacer en todo momento la demanda de agua para el riego de la zona del proyecto; y 6) que dentro de los dos años siguientes a la firma del contrato de préstamo, el prestatario demostrara que ha tomado las medidas necesarias para mejorar el cobro por el uso del agua, incluyendo el corte del agua, prescrito por la ley, para los morosos en el pago.

BIRF-AID. Proyecto de riego del Yaque del Norte, RD. 22 de diciembre de 1972, p. 17.

8 CIEPS. Estudio del área de influencia de la presa de Tavera. México. Noviembre 1970, pp. S/37-42.

9 BIRF-AID. Proyecto de riego del Yaque del Norte, RD. 22 de diciembre de 1972, pp. 19.20.

CUADRO AP 4.2.2
INGRESOS AGRÍCOLAS PREVISTOS POR CIEPS (1970)

Extensión de la finca (ha)	Ingresos agrícolas (RD\$)	
	Sin el proyecto	Con el proyecto
3.75	400-2,000	1,200-2,300
7.50	700-2,900	1,800-4,600
10.00	1,000-3,800	2,000-6,100
20.00	1,800-4,600	3,500-9.500
50.00	2,000-6,000	6,500-15,000

El análisis financiero indicó que todas las parcelas podían participar en la amortización de las obras de riego, en forma progresiva según sus dimensiones, e incluso para amortizar la totalidad de sus inversiones. Salvo las de 3.75ha, a las que no se debe gravar dados sus reducidos ingresos. Y se dejaba para un estudio posterior el determinar la participación de los usuarios del riego en la recuperación total o parcial de las inversiones hechas en el sistema de riego (préstamo internacional, con sus intereses y otros gastos financieros)¹⁰.

Y urgía al INDRHI a regularizar el cobro del agua utilizada por la CDE. Para realizar la evaluación económica del proyecto de riego fue necesario calcular la parte del costo de las obras comunes del proyecto Tavera asignable al mismo. Y se llegó a la conclusión de que un 69% del costo total de las obras comunes era atribuible al riego, y el 31% restante, a la generación hidroeléctrica.

Las conclusiones de estos estudios sobre tarifas no fueron aplicadas por el INDRHI, siguiendo la política del GORD, aunque eran condición para la concesión de los préstamos para dichos proyectos y facilitaban que los mismos se autofinanciasen a largo plazo¹¹.

PRESA DE BAO Y ESTUDIO DE LA CDE (1972)

El Estudio de factibilidad Tavera-Bao de la CDE (1972) recuerda que la construcción del proyecto de Bao sería financiada por el BID y el AID, organismos que pusieron como condición para ello que dicha inversión fuera amortizada por sus principales beneficiarios, con el cobro del agua de riego, doméstica, industrial y de la energía hidroeléctrica producida. Tarifa que no es arbitraria sino un cobro por el servicio complejo de poner el agua del río en la parcela, en las viviendas e industrias, y para producir electricidad.

Estudio que adoptó la tarifa del agua recomendada por CIEPS; cuota fija de RD\$7.50/ha-año + cuota variable de RD1.50/mil m3 de agua, cubriendo los gastos de operación y asistencia técnica del distrito de riego. La CDE asignó al riego un 45% de la amortización de la construcción del proyecto de Bao, en proporción a los caudales recibidos¹².

10 **Hay dos puntos de vista sobre la recuperación de las inversiones realizadas** en obras de riego, según se desee 1) recuperar la totalidad de ellas, directamente de los usuarios del servicio de riego, en un plazo económico, o 2) se acepte que sólo una parte de la amortización de las inversiones proceda de los agricultores. Ver op. cit., s/, pp. 38-42 y E/ XIV.19-21.

11 **No fue aplicado por el INDRHI**, siguiendo la política del Poder Ejecutivo de ese entonces.

EL INDRHI es una entidad autónoma, legal y formalmente. Pero dicha autonomía técnica, económica, administrativa y profesional, nunca le fue reconocida de hecho, a lo largo de la mayor parte de su historia, por el presidente de turno. Testigo de ello son la historia de sus presupuestos, de su precariedad económica y social, de su mediatización organizativa, de la interferencia de la clientela política de turno incluso en los nombramientos y ceses en los puestos de mayor responsabilidad. Todo ello muy al margen de lo que significa "autonomía" en la sociedad civil. Los nombramientos no dan capacidad a los funcionarios, si no se tiene antes de los mismos, y pocos la desarrollan después.

Los requisitos recomendados para el personal en los puestos de los distritos de riego, uno de los más importantes del INDRHI, pueden verse como ejemplo en PICHARDO, Jesús María, Manual de funciones del Depto. de Distritos de Riego y sus dependencias".

12 **CDE**. Estudio de factibilidad Tavera-Bao. Santo Domingo. 1972. III/5 13-17.

ESTUDIOS DE ILACO (1975-80)

Dichos estudios revelan, una vez más, que el régimen vigente de tarifas (el de 1962) no estimulaba la eficiencia en el uso de las aguas. Se cobraba el servicio de riego independientemente de la cantidad de agua que se gastara, por falta de una tarifa volumétrica, y el usuario no sentía la necesidad de ser eficiente y cuidadoso en el manejo del agua¹³.

Por otra parte, se cobraba el servicio de irrigación únicamente cuando el agricultor tenía cultivos bajo riego, por lo que con las tarifas vigentes no había forma de obligar al agricultor que no usaba el sistema de riego a contribuir a amortizar las inversiones hechas por el Estado en el sistema de riego instalado. Y no había control de la cantidad de regantes¹⁴.

Las tarifas nuevas propuestas por ILACO se basaron en recuperar los costos de operación y mantenimiento del sistema de riego y drenaje en su totalidad, sin tener en cuenta los costos de capital por las inversiones en las obras de riego, ya que se consideraron demasiado fuertes para los usuarios del proyecto, dado el incremento de costos que tuvo desde su inicio¹⁵.

Recomendó hacer una reforma de las leyes vigentes de tarifas y, en todo caso, plantea dos alternativas. La primera seguiría empleando tarifas fijas en base al área regada, pero diferenciando más los grupos de cultivos de acuerdo al uso consuntivo del agua. Y la segunda sería una tarifa mixta: a) una "tarifa fija", en base al área regable; b) una "tarifa volumétrica", en base al volumen de agua recibida, y c) una "tarifa de drenaje", en base al área drenada. La tarifa fija se cobraría anualmente, al inicio del programa de riego, y la volumétrica al terminar la cosecha¹⁶.

CUADRO AP 4.2.3
TARIFA MIXTA PARA DOS CULTIVOS TIPO ARROZ Y SORGO (ILACO)*

Tarifa	Arroz (+ retoño) (RD\$)	Sorgo (Dos cosechas al año) (RD\$)
Volumétrica	21.60	8.18
Fija	14.08	14.08

* El arroz, como ejemplo de cultivo de alto consumo de agua, y el sorgo, que no exige mucha agua.

ILACO estaba consciente de que las tarifas propuestas significaban aumentos del 300% o más sobre las vigentes, y esto sin tener en cuenta la amortización del capital invertido, ni la depreciación de las obras. Y por eso sugirió que la puesta en vigencia de las nuevas tarifas fuese con la entrega final de la tierra técnicamente preparada y provista del nuevo sistema de riego y drenaje, en cada

13 **ILACO.** Reorganización de operación y mantenimiento, proyecto de riego de Tavera. Informe preliminar. Noviembre, 1975.

ILACO. Proyecto de riego de Tavera: costo de riego y régimen de tarifas. Enero 1976.

ILACO. Cobrar el servicio de riego: cómo y cuándo (Proyecto de riego Yaque del Norte). Mayo 1977.

ILACO. Estudio tarifa de riego del proyecto Yaque del Norte. 1980.

14 **Amortización del sistema de riego instalado.** La tarifa fija, que se aplica a todas las tierras regables, estén cultivadas o no, estimula la participación en el riego y la optimización de las tierras, ya que se cobra una vez al año. Resulta más económico sembrar dos cosechas al año, que una, cuando es técnicamente posible.

Inversiones para el proyecto de riego de Tavera-Bao/López. Se estimaban en RD\$207M, a precios de 1974, incluyendo su parte en la construcción de las presas de Tavera, Bao y el contraembalse de López, así como el sistema de riego y drenaje de las 35,200ha del sistema de riego, la instalación de la casa bomba.

Los costos de inversión, asignables a riego y energía, los dos propósitos principales de las presas de Tavera y Bao, no habían sido decididos todavía de manera definitiva. Pero, para los fines de este estudio, se estimó en un 30% de los costos de inversión de dichas presas asignables al riego del PRYN. Mientras que para el contraembalse de López se consideró un 50%.

ILACO. Proyecto de riego de Tavera: Costo de riego y régimen de tarifas. Enero 1976, pp. 3-8.

15 **Inversiones no-recuperables.** Se recomendó que las inversiones hechas y por hacer, se consideren como no-recuperables directamente a través de las tarifas de riego, sino directamente, como ya se dijo.

16 Op. cit., pp. 16-19.

ILACO. Cobrar el servicio de riego: cómo y cuándo (Proyecto de riego Yaque del Norte). Mayo 1977, pp. 3-8.

zona, o parte de la misma. Esto no impedía que se pueda considerar no cobrar una parte del mismo a los pequeños agricultores asentados mediante el programa de reforma agraria, como una subvención, por ejemplo, durante los dos primeros años.

Todo ello ponía de relieve la necesidad de que el INDRHI respetase las normas técnicas, económicas, administrativas y de extensión agraria que deben caracterizar un distrito de riego, promoviendo y delegando responsabilidades en los usuarios. La responsabilidad del personal encargado de la operación debía comenzar en la obra de cabecera y terminar al entregar el agua en la toma de la unidad de riego. La Ley del Dominio de las Aguas Terrestres (1962) menciona la creación de asociaciones de regantes como representación de los usuarios en el distrito de riego, que seguía siendo una asignatura pendiente¹⁷.

REGLAMENTO GENERAL DE TARIFAS (1982)

En 1981 el INDRHI sometió al Poder Ejecutivo un proyecto de ley para duplicar las tarifas vigentes de riego, proyecto que no fue aprobado. Las nuevas tarifas serían¹⁸:

CUADRO AP 4.2.4
TARIFAS PROPUESTAS (1981)

Tarifa (RD\$)	Arroz		Frutos menores	
	Menor de 10ha	Mayor de 10ha	Menor de 10ha	Mayor de 10ha
Vigente (1981)	5.00	11.50	2.50	5.50
Propuesta	10.00	22.00	5.00	11.00

En lugar de lo propuesto, mediante el Decreto N°555 del Poder Ejecutivo (1982), se promulgó el Reglamento General para el cobro de las tarifas de administración, operación y conservación de los distritos y zonas de riego de responsabilidad del INDRHI.

En sus considerandos, con toda solemnidad dice, entre otras cosas, que “la autosuficiencia económica de los presupuestos anuales de administración, operación y conservación de los distritos y zonas de riego bajo la responsabilidad del INDRHI, a lograrse mediante las disposiciones del presente Reglamento General, será alcanzado en un plazo de seis años”, incrementando escalonadamente las tarifas vigentes en un 50% en 1984, para alcanzar el 100% en 1989 (Art. 29)¹⁹.

Con esta nueva modalidad, las recaudaciones pasaron de RD\$500,000 a RD\$2M en 1985.

Pero, desde 1986 se discontinuó la aplicación del reglamento, estableciendo tarifas subsidiadas y tasas diferenciadas por sistema de riego que, aún sumadas a los aportes del Gobierno,

17 **EL INDRHI** en sí, y los últimos responsables del mismo, el Poder Ejecutivo y otras instancias intermedias, que condicionan y determinan la política y operatividad diaria del INDRHI, de múltiples modos.

18 **1981**: 12 de agosto.

19 **Considerandos**. “Considerando que 1) las sumas anuales que el INDRHI viene destinando a la administración, operación y conservación de los distritos y zonas de riego de su responsabilidad superan en gran medida las que se recaudan por concepto de pago de los usuarios; 2) y que esta situación está restando importantes recursos de inversión para ampliar la frontera agrícola mediante la construcción de nuevos proyectos de riego y la rehabilitación y mejoramiento de los existentes. Las sumas que pagan los usuarios como tarifas para atender los servicios de administración, operación y conservación, no han sido modificadas en más de 20 años.

Y que, 3) de acuerdo a las disposiciones legales vigentes corresponde a los usuarios de los distritos y zonas de riego cubrir los costos de los servicios de administración, operación y conservación que presta el INDRHI en su beneficio; 4) que la autosuficiencia económica de los presupuestos anuales de administración, operación y conservación de los distritos y zonas de riego contribuirá a mejorar la eficiencia de dichos servicios y a la paulatina disminución de sus costos y que no tienen incidencia desfavorable en la rentabilidad de la actividad agrícola bajo riego...”.

eran harto insuficientes para la operatividad del sistema de riego, y fueron seguidas por incoherencias técnicas, económicas y sociales de los gobernantes de turno²⁰.

ESTUDIO DEL IICA (1988)

En 1986 se solicita un préstamo al BIRF para un proyecto de riego y, de común acuerdo, se encarga al IICA un estudio sobre el mismo. El estudio del IICA (1988) documenta como ningún otro la situación deficitaria de las tarifas de riego. El monto anual fijado para las mismas es insuficiente para lograr el autofinanciamiento de los servicios de riego que presta el INDRHI (administración, operación y conservación de los distritos de riego), al no aplicar el reglamento general de 1982. Así, en 1987, el monto recaudado por el INDRHI por tarifas de riego en el sistema de riego del Alto Yaque del Norte fue de solo un 3.5% de los costos anuales presupuestados para dichos servicios²¹.

Lo que en parte se explica por la baja productividad de las parcelas: debida a una serie de factores. Patrones tecnológicos de corte tradicional. Restricciones impuestas por el drenaje y la limitada cobertura de los servicios de apoyo a la producción ofrecidos por el Estado y por el sector privado. Los servicios ofrecidos por el mismo INDRHI eran escasos y deficientes y, en consecuencia, el manejo del agua era inadecuado e ineficiente en las parcelas, además de haber, por otra parte, un derroche de agua en muchas de ellas, dejando sin agua innecesariamente a los agricultores de la coda de los canales²².

Por lo que el estudio insistió en que para mejorar la eficiencia en el manejo del agua era necesario complementar los sistemas con ciertas obras de riego y de drenaje, y una mayor flexibilidad y disponibilidad de recursos por parte de los distritos de riego. Así como una mayor coordinación interinstitucional entre las entidades que trabajan en el área de los proyectos, principalmente entre el INDRHI y la SEA, que tenían conflictos con respecto a la política para el manejo del agua y el establecimiento de las prioridades de áreas y cultivos²³.

En 1988 el INDRHI inicio la delegación de la operación y conservación de la infraestructura menor de canales a las organizaciones de regantes de los sistemas de riego, reservándose el manejo

20 BIRF - Yaque del Norte Irrigation Project, DR, August 18, 1972.

BIRF-AID - Proyecto de riego del Yaque del Norte, RD, Diciembre 22, 1972.

21 IICA. Proyecto de desarrollo agrícola en tres áreas prioritarias bajo riego. 18 Vols. 1988.

3.5% vs el 80% de autosuficiencia establecido para 1987 según las disposiciones transitorias del Reglamento 555 (1982).

Cobro del monto de tarifas. Alto Yaque del Norte, 3.5%, Nizao-Valdesia, 15.1% y Azua 2.4%. Op. cit., Vol. VIII, 1.

22 Derroche de agua en muchos predios. La concientización de los usuarios respecto a la productividad de los cultivos por unidad de volumen aplicado, es muy baja. Y a ello no ayudaba el hecho de que los costos de operación del bombeo del agua no se cargaba a los usuarios. Op. cit., Vol. III, pp. 114-116 y 125.

23 Necesidad de complementar los sistemas con ciertas obras de riego y de drenaje. Durante la última década (1979-1988) el Gobierno le dio una alta prioridad al desarrollo del subsector riego, dedicándole un 40% del presupuesto del sector agropecuario, e incrementando el área bajo riego en unas 70,000 ha en dicho período.

A pesar de las cuantiosas inversiones realizadas en la ampliación de la infraestructura de riego, ésta tenía serias deficiencias, incluso en los grandes proyectos nacionales de riego (Alto Yaque del Norte – PRYN -, Bajo Yaque del Norte, Yaque del Sur –YSURA-, Nizao-Valdesia y Sabaneta), en su infraestructura menor para la distribución de las aguas a nivel de parcela.

Y, por otra parte, no había la implementación de políticas indispensables para que las áreas bajo riego pudieran cumplir con los objetivos previstos de productividad agrícola y mejoramiento social. Políticas concurrentes como las de crédito, precios, generación y transferencia de tecnología, comercialización, agroindustria, organización campesina, capacitación, operación y conservación de los sistemas, riego parcelario y tenencia de la tierra.

Todo lo cual contribuyó a que sus niveles de producción y productividad estuvieran lejos de su potencial, así como a la precariedad del cobro de las tarifas del servicio de riego. Y el diagnóstico de esta situación se hizo más claro hacia 1985, cuando se vio la necesidad imperiosa de eficientizar las tierras que ya están bajo riego.

Coherentemente con esa visión, el proyecto “Tres áreas prioritarias” (Alto Yaque del Norte –PRYN-, Nizao-Valdesia y Valle de Azua –YSURA-, ha sido concebido con la finalidad específica de que su ejecución incorpore los factores claves de naturaleza técnica, socioeconómica, institucional y política que aseguren y consoliden un proceso de transformación auto-sostenido y justo para los regantes y población de los sistemas. En otras palabras, que éstos se transformen en instrumentos eficientes y adecuados para promover y lograr el desarrollo agropecuario y rural sirviendo al mismo tiempo de modelos, con las modificaciones a que hubiere lugar, para los restantes sistemas de regadío del país.

Op. cit., Vol. I, pp. 10-14 y 29. Vol. III, pp. 153-161, y Vol. IV, p. 2.

y conservación de la infraestructura principal. Lo que se esperaba que contribuyera a reducir los montos de las tarifas y mejorar su cobranza²⁴.

El proyecto del IICA propuso que las juntas generales de regantes de los tres sistemas de riego que comprendía (Nizao-Valdesia, PRYN e YSURA) se constituyesen en la organización básica para brindar y canalizar los diferentes servicios contemplados para promover el desarrollo agrícola y rural perseguido. Ellas deberían asumir directamente la prestación de algunos de ellos y promover y apoyar las iniciativas de grupos particulares de regantes para la creación de empresas de comercialización y agroindustria²⁵.

CONSULTORÍA DE 1991

PROGRAMA DE FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL

Cuando el INDRHI solicitó financiamiento al BID para el proyecto de Sabaneta (1989), éste incluyó como condición para su concesión la elaboración de varios estudios de fortalecimiento institucional del INDRHI (en cuanto a su organización interna, distritos de riego y tarifas de agua, entre otros), para mejorar su capacidad para cumplir con las funciones y obligaciones que le asigna la ley que lo creó. Y, como consecuencia, asegurar el éxito de los proyectos de riego, como el de Sabaneta, en cuanto a su productividad para el país, la rentabilidad para los parceleros y su propio autofinanciamiento sin ser carga una vez más para el Estado²⁶.

El informe final del mismo da un diagnóstico muy revelador de la situación de los distritos de riego y de la precariedad del cobro de las tarifas de riego. Refleja cómo los usuarios generalmente consideran que el agua, por ser un recurso natural, no tiene por qué pagarse. Situación que era respaldada de hecho por el paternalismo del Estado y los políticos de turno. Por otra parte, las deficiencias organizativas técnicas y el mal estado de las redes de riego y drenaje que presentaban la mayoría de los sistemas, hacían que los regantes no tuvieran confianza en el servicio y se resistiesen a pagar, incluso las tarifas muy bajas vigentes.

Por otra parte, se daba el hecho del control de los precios de los productos agrícolas, mientras que los insumos – la mayoría de ellos importados – se dejaban al libre juego del mercado. Y a esto se añadía la falta de organización de los usuarios para mercadear sus productos, la poca asistencia técnica y crediticia que recibían, el tamaño de las fincas, y otros aspectos.

En la fijación realista de la tarifa están involucrados una serie de factores, además de los costos de conservación, mantenimiento, operación y administración, que cuando son ignorados, no permiten la exitosa recuperación de las cuotas impuestas. Las recaudaciones generalmente no sobrepasan el 40% de lo presupuestado, aun con las bajas tarifas vigentes. Había mucha elasticidad en su aplicación práctica, y los intereses políticos interfieren para que no se efectúen los cobros²⁷.

24 **Mejorar la cobranza de las tarifas.** A partir de las primeras transferencias de los sistemas de riego a las juntas de regantes (1987) se produce un aumento significativo de las recaudaciones por tarifas, al ser éstas cobradas en estos sistemas por las juntas, registrándose aumentos superiores al 100%, en relación a la tasa fijada por el INDRHI.

La tarifa del programa del Programa de Administración de los Sistemas de Riego por los Usuarios (PROMASIRE. 1997-2002) contempla cubrir el 100% de los costos de administración, operación y conservación del sistema de riego, en su primera etapa, después de que el sistema de riego haya sido mejorado.

PICHARDO B., Jesús María. Informe final de consultoría en distritos de riego. INDRHI: PRODAS. Santo Domingo, abril de 1966, p. II, 9.

25 **Los servicios propuestos** a ser asumidos directamente por las juntas generales de regantes son, entre otros: 1) la operación de los sistemas de riego, reservándose el INDRHI lo concerniente a conservación por un período no menor a los cinco años de ejecución del proyecto; 2) la cobranza de las tarifas de riego, cuyo monto definirán en acuerdo con el INDRHI; 3) el desarrollo parcelario, asistiendo técnicamente a los regantes en lo concerniente a nivelación de tierras, construcción de infraestructuras parcelarias, de riego y drenaje, conservación de suelos y métodos de riego.

La junta de regantes del PRYN se formó el 9 de octubre de 1987. Y en 1988 existían cinco asociaciones (de los sectores de Santiago, Bombeo, Villa González, Navarrete-Pontón), con 178 núcleos de regantes, agrupando a 1,496 usuarios. La junta disponía de un reglamento de operación de los laterales. Y sus actividades se han centrado principalmente en distribución de agua, cobro del 40% de la tarifa de riego, mantenimiento y construcción de obras complementarias.

Op.cit., Vol. I, pp. 32-33 y 47.

26 **GÓMEZ/SANTOS-SERCITEC-NEDECO.** Programa de fortalecimiento institucional: informe final. Préstamo BID 570/SF-DR. Proyecto Sabaneta (INDRHI). Santo Domingo. Mayo 1991.

27 Op. cit., 4.4. A. 1-2.

La consultoría recomendó tres fases para una aplicación más realista de las tarifas de riego. A corto plazo, para la situación vigente (con la infraestructura de los sistemas de riego incompleta y/o deteriorada, la disponibilidad de agua no muy segura durante los períodos críticos, y la capacidad de pago de los usuarios muy baja en la mayoría de los distritos): continuar con la tarifa vigente, según el Reglamento No. 555. A mediano plazo: tarifa con dos componentes, por superficie y por el costo del volumen de agua servida. Y, a largo plazo, cuando todos los sistemas estén rehabilitados y el servicio de agua sea confiable y oportuno: reducir los subsidios a unos pocos sistemas²⁸.

TARIFA DE AGUA A LA CDE (1991)

En 1991 se firmó un convenio entre el INDRHI y la CDE para la regulación de la tarifa por el agua utilizada para la producción de energía hidroeléctrica, y que se usaría para la operación y mantenimiento de los embalses. Dicho convenio establecía que la CDE pagaría mensualmente por el agua utilizada una tarifa de RD\$0.01 por cada kw/hora generado en las centrales hidroeléctricas.

Tarifa que nunca se pagó realmente, sino que la práctica fue el que el INDRHI suministraba el agua para la operación de las centrales hidroeléctricas de la CDE y ésta le suministraba al INDRHI la electricidad que el mismo consumiera, no obstante lo dispuesto por el Artículo 25 de la Ley Orgánica de esta institución²⁹.

CONSULTORÍA DE 1996

Cuando el INDRHI solicitó al BID financiamiento para el proyecto de desarrollo agrícola de San Juan de la Maguana (PRODAS), éste incluyó como condición para su concesión la actualización y profundización de los estudios sobre el fortalecimiento institucional del INDRHI de 1991.

Según uno de ellos, las tarifas de agua eran muy diversas para cada zona o canal de riego, siendo calculadas en base a 23 factores (Fca) de acuerdo a sus condiciones físicas y el tipo de cultivo, independientemente del volumen de agua utilizado. Oscilaban entre RD\$65.81 Fca/ha (zona de Higüey), y RD\$332.21 Fca/ha (zona de Constanza)³⁰.

Había una gran morosidad en el cobro de las tarifas, excediendo los dos años de facturación (773 días). BAGRÍCOLA era un factor importante en esta situación, ya que no transfería con el ritmo debido los cobros de tarifas que efectuaba en nombre del INDRHI, y así, en 1995, le adeudaba RD\$4.9M por tarifas cobradas y no entregadas. Con todo, la morosidad era muy alta y se esperaba reducirla notablemente al traspasar los cobros a las juntas de regantes³¹.

28 **Criterios para determinar una tarifa.** Tender a que: 1) la tarifa refleje en cada zona los costos reales de su servicio (operación, mantenimiento, conservación y administración). Por lo que cada zona debe tener un centro de costos operando con una alta eficiencia administrativa; 2) el cobro del servicio del agua debe dar seguridad al regante de que va a disponer del agua requerida por sus cultivos en el tiempo oportuno. Si la red de canales y su infraestructura no se encuentran en buen estado, el usuario no tendrá confianza en el servicio y la tarifa, independientemente de su costo, y no será aceptada; 3) si hay conflictos por el uso del agua y los intereses de otros usuarios (CDE, CAASD, CORAASAN, etc.) son más prioritarios que los de los regantes, éstos no aceptarán la tarifa impuesta.

Forma de cobro de la tarifa de riego: 1) El valor por superficie se debe cobrar anualmente y por anticipado, antes de comenzar el ciclo de invierno, antes de octubre. Si bien el pago puede dividirse en cuotas semestrales a ser cobradas antes de comenzar los ciclos agrícolas respectivos; 2) y el monto de la tarifa por volumen de agua consumida debe cobrarse al terminar el ciclo agrícola y antes de comenzar el próximo ciclo; 3) ambas tarifas deben ser cobradas directamente por los distritos a los usuarios, excepto en las zonas o sistemas delegados a las juntas de regantes. En este caso, cada distrito deberá calcular qué parte de las dos tarifas le corresponde al distrito para la operación, conservación, mantenimiento y administración de la infraestructura del mismo que está a su cargo.

29 **Convenio INDRHI-CDE.** El 28 de junio de 1991 se formalizó un convenio referente a 1) la operación de los embalses; 2) el mantenimiento, instrumentación y seguridad de las presas; 3) la participación recíproca en proyectos de aprovechamiento hidráulico; y 4) los gastos de capital y operación.

Aplicando el precio acordado en el convenio para el kw/h generado en las centrales hidroeléctricas a los volúmenes de agua transferidos a la CDE desde la creación del INDRHI hasta septiembre de 1995, la deuda de la CDE con el Instituto sería de RD\$115M (US\$8.9M). El INDRHI, por su parte, no pagó a la CDE las facturas por consumo de energía, las que hasta enero de 1995 ascendían a RD\$70M (US\$5.4M).

INDRHI. Programa de administración de los sistemas de riego por los usuarios (PROMASIR). Santo Domingo, 1995, p. 48.

30 **AQUINO CAMARENA, Andrés.** Informe final de consultoría en planificación (INDRHI: PRODAS). Préstamo BID-903/SE-DR.

31 **INDRHI,** op. cit., p. 47.

Los costos operativos excedían a los ingresos por venta de agua. Y los aportes del Gobierno para compensar el déficit operativo resultante y financiar el programa de inversiones, equivalían a ocho veces el monto de los ingresos por tarifas cobradas. Por lo que la consultoría insistió en realizar un estudio tarifario actualizado, para poder aplicarlo de manera realista, dando los términos de referencia para el mismo³².

A continuación se muestra el cuadro con el total de los costos operativos por distrito y por ha y su comparación con los factores comunes aplicables por hectárea, antes comentados, observándose que los mismos son sustancialmente inferiores a los costos reales por hectárea.

**CUADRO AP 4.2.5
COSTO POR DISTRITO TOTAL Y POR HA. (1994)**

Distrito	Costo Total (RD\$M)	Ha	Costo/ha (RD\$)	Fca/ha (RD\$ - Min-Max)
Alto Yaque	24.4	36,953	660.30	121.52 / 250.83
Bajo Yaque Norte	17.0	34,245	496.42	104.74 / 214.67
Yuna – Camú	16.7	27,546	606.26	97.90 / 332.21
Ozama – Nizao	13.8	16,447	839.06	129.30 / 130.91
Yaque del Sur	33.5	36,083	928.42	109.71 / 159.60
Valle de Azua	24.8	19,064	1,300.88	141.78
Valle de San Juan	16.4	31,727	516.90	88.73 / 111.11
Bajo Yuna	7.4	21,429	345.33	151.59 / 173.57
UOPE	7.6	8,179	929.20	65.81 / 146.77
TOTAL	161.6	231,673		

Por otra parte, la consultoría recomendó establecer la “entrega de agua en bloques”, lo que facilitaría su cobro por cantidad de agua recibida³³.

32 **Estudio tarifario**, en el que la tarifa, en todo caso, debe incluir los siguientes elementos: 1) los costos de administración, operación y conservación de los sistemas de riego y drenaje, a nivel de canales principales que se encuentren bajo la responsabilidad del INDRHI y los elementos de las presas y embalses que garantizan el suministro del agua a ser entregada; 2) los gastos de vigilancia y protección de las cuencas hidrográficas y de los acuíferos; 3) los gastos por la calidad del agua entregada; y 4) la garantía en el suministro del servicio, relacionado con la regulación de los embalses.

Op. cit., p. 52.

33 **Entrega de agua en bloques**. Entrega de un volumen determinado de agua en un punto del sistema de riego que permita su medición de manera confiable y continua, facilitando la equidad en la administración y cobro del servicio.

PICCHARO B., Jesús María. Informe final de consultoría en distritos de riego, pp. III, 5-8 y Anexo III.2.

RAMÍREZ A., Jaime. Informe final de consultoría del plan de tarificación por agua en bloque (PROMASIR). Agosto 1997.

APÉNDICE 4.3

PROYECTO DE RIEGO DEL YAQUE DEL NORTE (PRYN) ESTUDIOS PREVIOS

Según **Mendoza-Armenteros (1956)** la superficie irrigada en el distrito del Yaque del Norte era de unas 31,700ha. Pero, los caudales de agua disponibles eran menores de lo que necesitaban los cultivos en bastantes días al año, y las pérdidas del caudal derivado del río se estimaban en un 50% por las características de la red.

Y concluye que el río Yaque del Norte y sus afluentes podían asegurar el agua necesaria para la actual superficie regada y 30,000ha más si se construía un embalse regulador en Tavera de 73.8Mm³ de capacidad útil con una presa de 58m de altura. Presa, a cuyo pie, podía construirse una central hidroeléctrica de una potencia de 15.500kw, que podría producir 67M kw/h en los años de aguas medias¹.

La nueva zona regable se desarrollaría en ambas márgenes del río Yaque del Norte, a continuación de las zonas actualmente regadas por los canales Navarrete y Mao-Gurabo, hasta enlazar con las de los canales de Villa Isabel y La Antona.

El estudio preliminar de la **CIEPS (1962)** constató que hasta entonces no se habían estudiado el consumo de agua necesario para los cultivos bajo riego.

Recomendó que se hiciese un estudio completo del coeficiente de riego y sus variaciones mensuales en las tierras por regar abajo de Santiago, tomando en cuenta las lluvias, temperaturas y otros factores. Y estimaba que dicho estudio podría indicar que se pudieran regar unas 180,000ha (sic) aprovechando el 80% de su escurrimiento medio anual, si se aprovechara todo el río Yaque del Norte, con embalses de regulación. O sea, tres veces más que las 60,000ha que se pretendía regar (unas 30,00ha que ya están en cultivo, más unas 30,000ha nuevas), siguiendo el estudio de Mendoza-Armenteros².

Según el estudio de la **SOGREAH (1968)**, la red de riego existente fue proyectada para atender a 19,750ha netas, de una zona de 26,320ha brutas, por cuatro canales principales alimentados con agua derivada del Yaque del Norte, entre Santiago y la confluencia del río Amina. Pero, de hecho sólo 10,640ha (el 54%) estaba regado eficazmente³.

1 **MENDOZA-ARMENTEROS**. Estudio sobre las posibilidades de incrementar en 30,000ha los riegos del río Yaque del Norte, mediante la construcción de embalses reguladores. 1956, pp. 2-3 y 11-12.

Tavera. Mendoza-Armenteros en su Estudio hidráulico del río Yaque del Norte y sus afluentes Jimenoa, Bao y Mao (1956) indicó tres emplazamientos donde podrían construirse embalses reguladores: 1) Tavera, en el río Yaque del Norte; 2) Bao, en el río del mismo nombre, antes de su confluencia con el Yaque del Norte y aguas abajo del río Jagua; y 3) Monción, en el río Mao.

2 **Aprovechando el 80% de su escurrimiento** medio anual. Es bien sabido por los ingenieros que de un río sin regular sólo se puede utilizar para riego menos del 30% de su caudal, mientras que de un río regulado se puede aprovechar entre 70-90% de su caudal total anual, por las presas de almacenamiento.

CIEPS. RD: Evaluación preliminar de las posibilidades de desarrollo eléctrico y de riego. Marzo 1962, pp. 3-4 y 57-76.

3 **SOGREAH**. Estudios para el desarrollo múltiple de las cuencas de los ríos Yaque del Norte y Yaque del Sur. Reporte Final. 7 volúmenes. Marzo 1968.

El Gobierno de la RD solicitó financiamiento del PNUD para hacer un estudio de las cuencas de los ríos Yaque del Norte y Yaque del Sur. Dicho organismo internacional delegó en el BIRF, quien de acuerdo con el GORD escogió a la SOGREAH para que hiciera dicho estudio. Los términos de referencia fueron recortados en el proceso de su realización.

La red de riego existente comprendía, además de una red de canales privados, cuya agua se derivaba del arroyo Jicomé, que servían unas 5,000ha, de las que unas 4,650 estaban en un área pantanosa y pobremente drenada (Laguna Salada). Así como unas 1,200ha con riego por bombeo, directamente del Yaque o de los canales principales. Para una descripción más amplia de su red de riego y drenaje, así como de la demanda de agua, ver SOGREAH, op. cit., pp. I/16-17 y IV/54-64.

El agua para riego era generalmente de buena calidad, salvo en los canales Cañeo y Jicomé durante el verano, pero había problemas importantes de drenaje y salinidad, particularmente en la zona de la Laguna Salada. La red de drenaje, en general, estaba formada por pequeñas cañadas y pequeños cauces naturales (sin ninguna obra de mantenimiento desde hacía muchos años) que, durante aguaceros repentinos, no eran capaces de evacuar la intensa precipitación. Y no pocas veces el sistema de drenaje, cuando existía, no estaba separado de la red de riego, sino que los mismos canales servían para riego y drenaje.

El problema de la salinidad parece deberse a que la llanura del Yaque está bordeada, en su parte Norte, por colinas terciarias con estratos que tienen sal y se manifiestan con eflorescencias en sus afloraciones, y en el período lluvioso, las aguas de los torrentes, saladas por las colinas del norte, van a parar a los canales de irrigación. Y al ser utilizadas estas mismas aguas cinco o seis veces sucesivas, la concentración de sales crece, por efecto de la evaporación después de cada utilización. Pero, las perspectivas de desalinización y desarrollo son favorables si se siguen las técnicas adecuadas⁴.

Y SOGREAH, después de un estudio de los caudales de agua disponibles y de los suelos de la zona, concluyó que en base a los caudales naturales del río Yaque y sus afluentes, sin embalses de regulación en los mismos –la construcción del embalse de Tavera no se veía como una realidad inmediata-, se podrían desarrollar sólo 24,300ha con riego completo, aguas debajo de la ciudad de Santiago⁵.

Dicha zona comprendería 7,500ha en la margen occidental del Yaque del Norte irrigadas por el canal Bogaert, hasta cerca de la confluencia con el río Amina. Y en su margen oriental, 18,800ha irrigadas por los canales Navarrete y Cañeo hasta las cercanías del pueblo de Hatillo Plama⁶.

Las obras propuestas para la rehabilitación y ampliación del sistema se preveía completarlas en seis años, paralelamente al desarrollo del plan agrícola propuesto. Y comprenderían la mejora de las tomas de los canales principales alimentados por el Yaque para asegurar una cantidad de agua suficiente, la mejora de las estructuras de derivación, la limpieza de los canales y la reparación de algunas secciones de las márgenes de los canales principales que están a punto de romperse. Así como reconstruir las derivaciones parcelarias para permitir controlar la utilización del agua por los agricultores y medir las cantidades derivadas para cada uno. Y evitar así, además, el derroche de agua que predominaba en las zonas superiores y que originaba una escasez y falta de agua en los cultivos de la parte inferior de los canales⁷.

4 **El problema de la salinidad** se debe en parte a la ausencia de un drenaje real y eficaz de la llanura, capaz de evacuar las aguas demasiado saladas devolviéndolas al Yaque, a ser posible, aguas debajo de las tomas para riego. Las aguas de mayor salinidad son las del arroyo Jicomé y del río Viejo, pero, incluso estas aguas podrían utilizarse para el cultivo del arroz mediante un drenaje eficaz. El caudal de agua subterránea salada que puede llegar a la llanura no parece ser considerable, dada la débil permeabilidad de la zona.

Las tierras de mayor salinidad correspondían, en la gran mayoría de los casos, a suelos no cultivados o abandonados para el cultivo, por falta de agua, así como a suelos alcalinos. En ciertos lugares, sin embargo, los agricultores habían descubierto, por experiencia, que el cultivo del arroz permitía la desalinización de las tierras. Lo que se ha confirmado por algunos resultados de análisis, constituyendo un factor prometedor respecto a las posibilidades del lavado.

Op. cit. I/16-17 y IV/16-24.

5 **Los caudales** naturales promedio del Yaque del Norte, según datos disponibles, en Santiago eran: para un año medio, 24.46mcs, para un año seco, 20.06mcs, y para un año húmedo, 52.8mcs. Si bien en un año seco como el de 1947 podían registrarse caudales inferiores en un 40% del caudal medio y hasta un 80% durante los meses de abril y noviembre.

Estudio de los suelos, semi-detallado, con mapa escala 1/ 20,000. Las tierras de clase 1, 2 y 3 (aptitud para riego de muy buena a mediana), cubrían un 73% de la zona del proyecto. Op. cit., pp. I/7-8 II/7-22 y IV/11-23.

6 **Zona** que abarca parte de los municipios de Santiago, Valverde, Esperanza y Villa Bisonó y los distritos municipales de Villa González y Laguna Salada. Zona en la que el riego se practicaba mediante un sistema de canales escalonados, con tomas del Yaque del Norte, desde Santiago hasta aguas arriba de la confluencia del Amina.

7 **Obras propuestas.** En la zona de Laguna Salada habrá que construir nuevas redes de riego y drenaje para sustituir las existentes y, cuando se pueda, habrá que hacer una limpieza y mejora de las pequeñas cañadas, así como el curado de las zanjas de drenaje en las zonas pantanosas. Así como prolongar el canal Cañeo para la traída de agua de riego y el acondicionamiento del arroyo Jicomé y el río Viejo para convertirlos en los principales puntos de drenaje de esta zona.

Op. cit.. IV-75-99.

El estudio de SOGREAH estimaba que cuando se decidiese hacer los embalses reguladores en el Yaque del Norte y sus afluentes podría garantizarse el riego a unas 70,500ha del distrito del Yaque del Norte en una primera fase, combinando tres de los cuatro sitios posibles (Tavera, Jagua, Inoa y Monción), con una capacidad para 230Mm³ de agua. Y de añadirse un cuarto embalse, en una segunda etapa, el área regable podría aumentarse hasta 83,700ha, ampliando la zona con riego a los terrenos más elevados en el valle, en los alrededores de Santiago y en la región de Montecristi⁸.

Para ello habría que aplicar criterios y disciplina profesional en todas las acciones tomadas para realizar los objetivos propuestos. Y se recomendaba establecer una comisión autónoma, competente y bien organizada, que tuviese completa autoridad sobre las empresas agrícolas de la zona del proyecto⁹.

El estudio de **CIEPS (1970)**, dos años después de ser presentado el de SOGREAH, tuvo su origen en que en ese lapso se decidió construir la presa de Tavera, que modificaba el marco del estudio realizado. Por otra parte, cuando el GORD solicitó al BID financiamiento para su construcción, éste puso como condición la formulación de un plan para el desarrollo agrícola en el área de influencia de la presa, a fin de asegurar que se cumpliesen los objetivos del proyecto y que el buen manejo agrario contribuiría a amortizar el préstamo a largo plazo. Y a tal fin se contrató a la firma mexicana CIEPS¹⁰.

Al iniciarse el estudio se regaban unas 14,000ha netas aprovechando los caudales del Yaque del Norte y algunos de sus afluentes, así como diversos caños y drenajes. Los canales principales en la margen izquierda eran el canal Bogaert, Los Almacílagos y el del río Amina. Y por la margen derecha, el canal Navarrete, con aguas del arroyo Jicomé y drenajes, el Cañeo y el Roselia.

El riego que era con muchas deficiencias, tanto por la irregular distribución de las lluvias durante el año, como por defectos en la infraestructura existente, ya que adolecía de múltiples defectos. La falta de presas derivadoras definitivas, el diseño inadecuado de las obras de toma y la escasez de canales laterales dificultaban abastecer los canales con los caudales necesarios, principalmente en el estiaje. Y permitían la entrada de grandes cantidades de material en suspensión, que se depositaba en los primeros kilómetros de los canales, obstruyéndolos.

No había estructuras de control, distribución y medición, y la multiplicidad de tomas directas del río complicaba la operación. Los usuarios de los primeros tramos de los canales recibían los mayores volúmenes, y los que se encontraban aguas abajo, prácticamente no recibían agua alguna. Y la ausencia de sistemas de canales de drenaje provocaba la salinización de los suelos.

Pocos suelos eran apropiados para el cultivo de arroz, dada su alta permeabilidad, por lo que requerían cantidades excesivas de agua que provocaban la salinización de los suelos por falta de drenaje adecuado. Por ello, se recomendó la reducción del área de arroz a 5,000ha y que el arroz sólo se sembrase en suelos menos permeables, dejando la mayor parte del área del proyecto para cultivos con menor demanda de agua y mayor rentabilidad¹¹.

El factor más limitante para el riego era la disponibilidad de agua, para el desarrollo agropecuario del valle del Yaque del Norte, en su conjunto. La calidad de las aguas del río Yaque

8 Op. cit., II/23-32.

Estudios posteriores del INDRHI indicaron que dadas las características agrológicas de parte de las tierras es imposible poner bajo riego 70,500ha.

9 **El director ejecutivo del proyecto** debería tener diez años de experiencia en la organización y dirección de operaciones similares. Sería responsable del desarrollo del proyecto como una unidad económica integrada, y tendría total poder de decisión en cuanto a todos los contratos, siendo responsable ante el consejo de administración, al cual rendiría cuenta de su gestión y del que recibiría las directrices. Y si el primer director ejecutivo fuere un extranjero instruiría a un dominicano para el puesto de director ejecutivo, el cual le sucedería cuando la integración económica y los objetivos de desarrollo de la zona del proyecto hubiesen sido llevados a buen término.

Y sería asistido por cuatro expertos, con calificaciones similares en sus respectivas ramas, los cuales dirigirían los departamentos de agronomía, riego, crédito y mercadeo.

Op. cit., IV/100-109.

10 **CIEPS**. Río Yaque del Norte: estudio del área de influencia de la presa de Tavera. 6 Volúmenes. Noviembre 1970.

11 Op. cit., I/S 47 y II B/Y-3.

del Norte, en Santiago, era muy buena y su contenido salino muy bajo. Pero, a partir de Santiago, la salinidad es cada vez mayor, a medida que el río se interna en la llanura y recibe las aguas de los drenajes de las zonas de riego. Un 20% de las tierras del proyecto presentaba problemas de salinidad con diferentes grados de importancia, ocupando zonas con mal drenaje y alto nivel freático, usando agua en exceso o de mala calidad¹².

El distrito de riego cubría unas 55,700ha brutas, distribuidas en ambas márgenes del Yaque del Norte. Pero, sólo 40,000ha netas eran aptas para un desarrollo agrícola con riego – según los estudios agrológicos, hidrológicos y económicos -, una vez construida la presa de Tavera. Área que podía ser altamente productiva si se regaba y manejaba de manera apropiada, pudiendo cosecharse 58,000ha anuales (16,000ha con cultivos repetidos y 2,000ha de sorgo forrajero con doble cosecha)¹³.

Los recursos hídricos disponibles estarían integrados en un 55% por los caudales regulados en Tavera, y el 45% restante, por los aportes no regulados del río Bao y las aguas marginales del tramo Tavera-Santiago. Y se preveía una demanda de agua de 26.6m³/s promedio anual, para la zona total a regar 40,000ha al final del proyecto¹⁴.

CIEPS recomendó una sola presa derivadora, con tanque desarenador de limpia hidráulica y dos canales principales, uno por cada margen, para servir toda el área de riego, incluyendo las tierras nuevas. Se necesitaría la construcción de nuevos canales, o modificaciones radicales en los existentes, y una mayor capacidad en los mismos, dado el incremento de los caudales disponibles. Y habría que revestir de hormigón la mayor parte de los canales de riego, tanto los principales como los de distribución, para evitar fuertes pérdidas en la conducción, por la permeabilidad de las tierras.

Con estas ideas analizó diversas alternativas seleccionando los dos esquemas mejores, tanto desde el punto de vista económico como desde su operación y facilidad de construcción: el Canal Alto (esquema 1) y el prolongación Canal de Navarrete (esquema 2) escogiéndose el primero¹⁵.

12 **Salinidad.** En general, el problema solo empezaba a presentarse, y los contenidos de sales eran bajos, normalmente. Y el problema de la salinidad se podía eliminar con relativa facilidad, con lavados de los suelos, al construirse una toma única en el río Yaque del Norte, en Santiago, y que la red de drenaje estuviese en operación. Ello permitiría recuperar algunas de las tierras ahora improductivas.

Op. cit., I/S 4-6.

13 **Estudios agrológicos, hidrológicos y económicos.** Ver op. cit., I/S 19.31. **40,000ha netas a regar.** Podría regarse por gravedad un 93% del área total y el restante 7% por bombeo. Gran parte de las tierras tenía buenas condiciones topográficas para su aprovechamiento agrícola. Eran llanas con pendientes máximas de 4% en general. La altitud de sus tierras iba desde 170 y 145m snm (en las áreas de riego por bombeo y en las de gravedad, respectivamente), hasta 30m/snm en la parte occidental del área. Op. cit. I/I. 3-5 y IX.1.

De las 40,000ha regables (con cosecha de 58,000ha anuales) se recomendó dedicar 11,700ha (29%) a cultivos perennes, 28,300ha (71%) a cultivos anuales. Y el resto de las tierras no regables a producción ganadera, cultivo de forraje para ganadería de carne y leche.

14 **Caudales de Tavera y el riego.** La política oficial era que la operación de Tavera fuera prioritariamente en función del riego. (Op. cit. V/C II,25).

Demanda de agua que sería mayor en seis meses del año (30m³/s), alcanzando su máximo en junio (32.9m³/s) y su mínimo en enero (18.0m³/s). Por lo que el caudal de diseño de la obra de toma de riego y su canal principal debería ser de 40m³/s. La deficiencia del agua de riego se estimaba prácticamente nula. En un mes muy seco como octubre de 1959, sería de 4% respecto a la demanda de ese mes, y 0.46% respecto a la demanda anual.

Op. cit., I/S 20 y C.III-11.

15 **Dos esquemas.** El Esquema No. 1 "Canal Alto" proponía la construcción de un nuevo canal principal, paralelo y más alto que el de Navarrete, que incorporaría nuevas tierras al norte del canal Navarrete, así como en Guayacanes y al oeste. Y el Esquema No. 2 "Prolongación canal Navarrete" prolongaría y ampliaría el canal Navarrete, quedando la mayor parte de las tierras de riego al oeste de Guayacanes.

Los dos esquemas tienen en común las "obras de cabecera" y las de la margen izquierda. La diferencia está en las obras de la margen derecha: La propuesta de CIEPS de escoger el Esquema No. 1 Canal Alto fue refrendada por el INDRHI, el BM y el BID.

Op. cit. I/IX V/Anexo D y VII/ 2, 16-17.

OBRAS NECESARIAS PARA EL RIEGO DE LAS 40,000HA NETAS

- *Obras de cabecera, o de derivación del río Yaque del Norte, comunes para las dos márgenes del río, y luego en cada una de ellas:*
 - o Un sistema de canales de riego, o de distribución de agua
 - o Una red de drenaje
 - o Estructuras de control y protección, y
 - o Obras complementarias para la operación del distrito¹⁶

La obra de toma estaba diseñada para 40m³/s capaz de abastecer los canales de manera eficiente en sus épocas de mayor demanda. El canal principal, que partía de la nueva obra de toma, se bifurcaba a los 3.5km, en una estructura que funcionaría como represa, toma lateral y desagüe. Un ramal, constituido por el canal Bogaert, regaría la margen occidental. Y el otro ramal, el Canal Alto, cruzaría el río y regaría la margen oriental¹⁷.

Las obras propuestas para la margen derecha eran de mayor magnitud que las de la margen izquierda, siendo totalmente nuevas. El Canal Alto, paralelo a los canales de Navarrete y Jicomé, bordearía el pie de monte de la Cordillera Septentrional en su nivel más alto posible, para poder regar la mayor cantidad de tierras posible por gravedad. Sería el nuevo canal principal del distrito de riego, con 88km de longitud y su capacidad de diseño variaría desde 35.0m³/s al iniciarse, hasta 0.5m³/s en su tramo final, teniendo dos rápidos en el kilómetro 79. La red de distribución constaría de 470km de canales revestidos, y la red de drenaje de unos 673km. La planta de bombeo tendría 2.0m³/s de capacidad, para regar las tierras más altas que los canales de gravedad¹⁸.

Las obras principales propuestas para la margen izquierda fueron la rehabilitación del canal Bogaert (de 37.5km, con capacidad de 9m³/s de caudal), canal que es el principal de la red existente, y que pasaría a ser un importante canal lateral de la nueva red de riego. Así como un sistema de canales revestidos de distribución del agua, drenaje pluvial y agrícola. Y una planta de bombeo para elevar las aguas de riego a 1,450ha netas de las tierras altas.

El costo total de la construcción del proyecto de riego (40,000ha) se estimaba en RD\$49.7M (1970). Los beneficios “sin el proyecto” eran de unos RD\$5.4M (1970) y se esperaba que “con el proyecto” fuesen de RD\$31.0M anuales una vez normalizado –unos RD\$25.50M más-, si se garantizaba el caudal regulado y el buen manejo previsto. Se preveía que el proyecto quintuplicara la producción actual y septuplicase los beneficios de la producción ganadera, además de crear unos 12,000 puestos de trabajo adicionales¹⁹.

Los informes del **BIRF/AIF (1972)**, cofinanciadores del proyecto del Yaque del Norte, evaluaron el estudio de la CIEPS, matizándolo y complementándolo en puntos concretos, y a veces marcando cambios respecto del mismo.

Según dicho informe, los sistemas de riego existentes servían teóricamente a 24,000ha (en la margen izquierda unas 7,000ha, y en la margen derecha unas 17,000ha), pero sólo un 50% de las tierras eran regadas adecuadamente. Y con su falta de sistemas de drenajes adecuados, tenía

16 Op. cit., VI/E IX-2.

17 La obra de toma estaría en la margen izquierda del Yaque del Norte en Santiago, frente a la calle Hermanas Mirabal, 200m aguas abajo de la presa existente en el canal Bogaert.

18 El Canal Alto cruzaría el río Yaque, por un sifón invertido de 550m, inmediatamente aguas abajo de la estructura de la toma del lateral Bogaert, para regar las tierras de la margen derecha del río. Y atravesaría una sierra cercana a Santiago, por un túnel de 600m de longitud, ambos con una capacidad de 35m³/s, teniendo una planta de bombeo a la salida del túnel para elevar el agua a las tierras altas.

Op. cit. I/S22. VI/E. IX. 1-3, 19-23 y G/DIII-16.

19 **RD\$49.7M** (1970): 1) Proyecto de riego I Fase: RD\$37.7M, incluyendo el costo proporcional por costo de la presa de Tavera; 2) Proyecto de riego II Fase: RD\$12.0M, incluyendo obras civiles del contraembalse.

Op. cit., I/S-46.

una zona de unas 8,000ha con problemas de salinidad, con lo que su capacidad productiva había disminuido considerablemente²⁰.

El sistema de riego empezó a usarse formalmente desde 1920, aguas abajo de Santiago. Sin embargo, la construcción de los principales canales nunca se completó realmente y tienen algunos defectos serios. Y los sistemas de distribución de los canales principales tampoco fueron completados, y son inadecuados para servir el área irrigable, incluso cuando el suministro de agua es suficiente. Las condiciones descritas son más críticas en la margen derecha.

La cuenca del Bao sufría una intensa erosión durante las fuertes lluvias, produciendo sedimento que va desde limo a arena y grava, que se deposita en los sistemas de canales, lo que, por otra parte, afecta la calidad del agua. Esto requiere constantes limpiezas, especialmente en los canales Bogaert y Navarrete, pero este problema solo puede eliminarse con las obras propuestas como desarenadores.

El proyecto supondría la construcción de un nuevo sistema de regadío y drenaje para sustituir a los ya existentes aguas abajo de Santiago abasteciendo de agua adecuadamente a 27,500ha en una primera etapa. De ellas, 23,000ha estarían en la margen derecha, y 4,500ha en la margen izquierda, que continuarían operando como hasta entonces. La demanda de derivación de agua, teniendo en cuenta la eficiencia del riego en las fincas y las pérdidas de conducción del sistema, se calcularon sobre la base de una eficiencia global del 60%²¹.

Las obras principales del proyecto serían la derivación del Yaque del Norte, a la altura de Santiago, con su desarenadora. Un canal principal revestido de hormigón de 73km. Un sistema de canales secundarios revestidos con tomas para terciarios correspondientes a bloques de 40ha. Estación de bombeo para servir agua a unas 1,600ha, situadas por encima del nivel del canal principal. Caminos de grava a lo largo de los canales principales y secundarios (375km). Y oficinas y viviendas para el personal de los servicios de operación y mantenimiento.

La construcción del proyecto se preveía que comenzaría en 1974, para completarse a finales de 1978. Y se desarrollarían simultáneamente servicios de investigación, extensión y crédito agrícolas, dotándolo de los equipos e instalaciones para su operación y mantenimiento²². Y el Gobierno llevaría a cabo un programa de reforma agraria conforme a un plan que debía contar con el visto bueno de la AIF²³.

20 BIRF. Yaque del Norte Irrigation Project. Dominican Republic. August 18, 1972.

BIRF-AIF. Proyecto de riego del Yaque del Norte. RD. 22 Diciembre de 1972.

Dichos organismos internacionales propusieron un préstamo para el proyecto de riego de US\$26M a concederse por la AIF (US\$13M) y por el BID (otros US\$13M), un 67% del costo total del proyecto (US\$39M).

Salinidad. El canal de Caño mostraba una salinidad de 500ppm, mientras que el canal de Jicomé tenía 1,250ppm. Este último era el canal principal del área de Laguna Salada, donde la salinización de unos 8,000ha ha afectado seriamente la producción agrícola. Pero, todas las tierras salinas del proyecto podían recuperarse con el abastecimiento de agua dulce y un adecuado sistema de drenaje para bajar el nivel freático y eliminar esta fuente de salinidad, que se ha desarrollado en la parte inferior del valle.

BIRF-AIF, op. cit., p. 4. Para más detalles, ver el Anexo 2 y el Anexo 4. 4-5.

21 **Demanda de agua.** Las necesidades mensuales y anuales de agua de cada cosecha y del proyecto en su conjunto se detallan en op. cit., Anexo 4.

22 **El canal principal,** que cruzaría el Yaque del Norte mediante un sifón invertido, y poco después atravesaría una pequeña cordillera de colinas por un túnel, tendría capacidad para servir unas 40,000ha, permitiendo la ampliación del proyecto cuando se construyese la presa en el río Bao, incrementando el agua regulada disponible para riego.

Canales secundarios. 35 canales, de diversa capacidad y longitud, con una longitud total de unos 300km.

Sistema de drenaje. Consistiría en drenes principales, secundarios y colectores, de acuerdo con las necesidades de los bloques de 40ha. Se estimaba que serían necesarios unos 500km de drenes de todo tipo, la mitad de los cuales serían cauces naturales reacondicionados.

Las obras en finca, dentro de los bloques de 40ha, consistirían en la construcción de canales terciarios de riego –de entrada a las fincas–, estructuras para garantizar el adecuado suministro a cada finca, drenes y nivelación de tierras.

Op. cit., pp. 5-7. Para una descripción más detallada de las obras del proyecto.

23 **Reforma agraria.** Según la legislación vigente, entre 7,000 y 10,000ha de tierras de la zona del proyecto serían expropiadas y divididas en fincas pequeñas, con lo que alrededor de 2,000 a 2,500 familias que no poseían tierras recibirían títulos de propiedad.

Op. cit, p. II.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

Se estimaba que cuando el proyecto alcanzase su pleno rendimiento (1985) el valor neto anual de la producción sería de unos RD\$10.3M “con el proyecto” vs RD\$2.8M “sin el proyecto”. Y que se duplicaría el empleo, pasando de 4,000 hombres-año a unos 8,500 hombres-año. La mayoría de los beneficiarios del proyecto serían los pequeños propietarios que recibieran tierras por la reforma agraria, triplicando su ingreso promedio respecto a su situación anterior. Ingreso que variaría según el tamaño de las fincas y el tipo de cultivo.

El estudio de la **CDE (1972)** analizó la compatibilidad de ampliar la zona de riego a 40,000ha y la optimización de la generación hidroeléctrica en base a los caudales disponibles en las obras hidráulicas propuestas. Estudio que era más apremiante dado que la política oficial era priorizar los caudales para el riego y los precios del petróleo se habían disparado a inicios de los 70²⁴.

CUADRO AP 4.3.1
ÁREA REGADA Y PRODUCCIÓN DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA
EN BASE A LOS PROYECTOS DE TAVERA, LÓPEZ Y BAO

PROYECTO	Área Regada (ha)	Demanda Bruta Anual Riego (m ³ /s)	Caudal Regulado Disponible (m ³ /s)	Produc. Anual Energía Eléctrica (Gwh)	Variac. Respecto Produc. Original (M Kwh)	Variación (%)	Diferencia Ingresos Anuales (RD\$ M)
Tavera solo (sin riego)	20,000	0.00	17.10	126	---	---	---
Tavera solo (con riego)	20,000 27,000 40,000	15.30 19.77 28.45	15.17 13.94 9.30	112 103 68	-14.0 -23.0 -58.0	89 82 54	-20.00 -90.00 -1.07
Tavera+López (con riego)	40,000	28.45	16.40	158	+32.0	125	+0.96
Tavera+Bao (con riego)	40,000	28.45	38.00	305	+179.0	242	+5.40

Fuente: CDE

24 CDE. Estudio de factibilidad Tavera-Bao. Volumen III, Cap. 7: Informe sobre la operación del proyecto hidroeléctrico Tavera, bajo las condiciones de satisfacer la demanda de agua del distrito de riego. 1972

APÉNDICE 4.4

PROYECTO DE RIEGO DEL YAQUE DEL NORTE (PRYN) IMPLEMENTACIÓN¹

PRIMERA ETAPA

La Etapa I del PRYN se desarrolló en la margen oriental del Yaque del Norte, abarcando unas 29,730ha brutas, de las que 21,610ha eran irrigables. De ellas se rehabilitaron unas 17,150ha y se incorporaron unas 4,458ha nuevas. Esta fase se dividió en **dos contratos**, según el área abarcada y el financiamiento externo obtenido.

El Contrato I comprendió todos los trabajos a realizarse desde Santiago hasta Navarrete, desde la obra d cabecera hasta el km. 33.5 del canal principal, unas 5,150ha netas.

Y el Contrato II se extendía de Navarrete a Villa Elisa, desde el km. 33.5 del canal principal hasta Arroyo Agua, en Villa Elisa (Guayubín), cubriendo 21,000ha².

Los diseños definitivos de la infraestructura de riego y drenaje fueron realizados por el Consorcio Acres Int. – ILACO – Hanson & Rodríguez y la **construcción** fue adjudicada, mediante concurso al Consorcio Dominico-Mexicano ICANTROBAS. El Contrato I fue iniciado en julio de 1977, y debía terminarse en 30 meses (enero de 1980). Y el Contrato II, iniciado en agosto de 1978, debía terminarse en 36 meses (agosto de 1981)³.

Pero, desde el mismo inicio de los trabajos, las obras sufrieron una serie de problemas, de orden técnico y económico, que retrasaron su culminación. Los prejuicios económicos causados al país por no haber entrado en operación y servicio en la fecha estipulada, se estimaron en RD\$42M, en agosto de 1982, al comparar la producción de la zona del PRYN con y sin el proyecto. Perjuicios que fueron mayores, ya que su entrada real en operación y servicio fue mucho más tarde⁴.

Esta situación provocó que el GORD decidiera la rescisión unilateral de los dos contratos con ICANTROBAS en octubre de 1982. Y que se continuaran las obras del proyecto por administración directa del INDRHI, utilizando el equipo propiedad de ICANTROBAS. Este programa tuvo un buen comienzo, pero a los 18 meses, el apoyo económico se cayó completamente.

Entretanto, y como consecuencia de ello, dicho consorcio presentó una serie de demandas ante la Corte de Arbitraje de la Cámara de Comercio Internacional, contra el INDRHI y el Estado dominicano. Y la Corte emitió un laudo, en abril de 1984, condenando al Estado dominicano al pago de los reclamos sometidos por ICANTROBAS.

1 **El PRYN** funcionó en el período 1973-1977 como “Proyecto de riego de Tavera”, y fue oficialmente creado como “Proyecto de riego del Yaque del Norte” (PRYN) mediante el Decreto No. 3047, del 25 de agosto de 1977, modificado por el Decreto No. 2757, del 18 de septiembre de 1981.

2 **GÓMEZ NÚÑEZ, Vicente.** Conferencias sobre el proyecto de riego Yaque del Norte. 1982, p. 2.

3 **ICANTROBAS.** El INDRHI firmó con ICANTROBAS el “Contrato I” el 15 de junio de 1977 por “22.9M y el Contrato II el 2 de junio de 1978 por \$33.4M.

Desde Navarrete a Villa Elisa. Más exactamente, desde el km 33.5, cerca de Navarrete, hasta arroyo Agua, en Villa Elisa, Guayubín.

4 **Serie de problemas.** El contratista alegaba que sus retrasos se debían a la falta de diseños definitivos, instrucciones a tiempo por parte del ingeniero (Acres), así como de derechos de vía para la construcción la demora en la aprobación de las leyes de reforma agraria y, más tarde, por insuficiencia en el suministro de cemento.

Por su parte, el ingeniero decía que desde el inicio de los trabajos, el contratista utilizaba incidentes menores para justificar demoras mayores, causadas por su propia ineficiencia y las deficiencias de su propia organización. Aunque admitía que había tenido dificultades en la obtención de la información topográfica para la preparación de los diseños, ya que el INDRHI no le había provisto del personal de campo a tiempo.

Y después de una serie de negociaciones extrajudiciales se llegó a un convenio de finiquito, en noviembre de 1985, en el que el INDRHI y el Estado dominicano reconocían una deuda, a favor de INCANTROBAS, por US\$21M por cubicaciones no pagadas, reclamaciones, refacciones en almacén y otros capítulos. En dicho convenio de finiquito se acordó además devolverle el equipo incautado por el Estado dominicano y pagarle el equipo faltante o irreparable, y otorgar a ICA un nuevo contrato por US\$25 para ejecutar la Fase II del PRYN.

Finalmente, para pagar la deuda reconocida a INCANTROBAS, el GORD obtuvo un convenio de apoyo financiero del Gobierno de México por el que le prestaba US\$36.8M, fondos que serían generados del pago de las facturas petroleras según el Acuerdo de San José.

CONCLUSIÓN DE LA UNIDAD EJECUTORA⁵

Es necesario haber vivido todas las etapas que ha tenido el proyecto durante su desarrollo para comprender de una manera lógica la razón y magnitud de sus problemas. Prácticamente, los problemas del proyecto nacen desde su origen, los cuales se fueron agravando durante su etapa de desarrollo, sin que se aplicaran los correctivos necesarios para que esta situación cambiara.

Después de conocer todas estas cosas que hemos señalado, sabiendo la elevada inversión que hasta ahora ha realizado el Gobierno dominicano, la cual podría quedar prácticamente muerta si las obras no se terminan, recomendamos lo siguiente: 1) olvidar en la medida de lo posible todo lo que ha sucedido hasta el acuerdo de finiquito, y 2) buscar una forma de revisar y armonizar los acuerdos y contratos firmados para continuar la ejecución de las obras de manera tal que permita terminar el proyecto sin más interrupciones, en el menor tiempo y con el menor sobre costo posible⁶.

Septiembre de 1986

SEGUNDA ETAPA

La Etapa II del PRYN **comprendió**, además de lo proyectado en principio (infraestructura de riego y drenaje de unas 9,600ha brutas en la margen izquierda del Yaque del Norte y la ampliación de unas 4,100 ha en la margen derecha), terminar lo que quedaba pendiente de la Etapa I, así como corregir algunas de las obras hechas por el INDRHI entre la rescisión del contrato y el convenio de finiquito⁷.

Con la terminación de los trabajos de la Etapa I entraron a operar unos 11.7km de canales principales y 24.9km de canales secundarios, poniendo bajo riego unas 2,120ha con un sistema adecuado y confiable.

Se firmó el contrato para su **construcción** el 29 de noviembre de 1985, por valor de US\$25M con el consorcio México-dominicano ICA-PEMISA, con un presupuesto meta. Pero, el inicio de las obras no pudo ser hasta julio de 1986, por problemas burocráticos⁸.

Estos atrasos produjeron costos adicionales y sobre costos que dieron como resultado un recorte al programa original de la Etapa II, por lo cual hubo que pedir una ampliación del financiamiento del Gobierno de México para completar dicha etapa del proyecto⁹.

5 **La unidad ejecutora** del proyecto es la oficina del INDRHI, que tiene como finalidad principal la coordinación de todas las actividades necesarias para lograr que el proyecto se desarrolle de la mejor forma posible.

6 **PRYN**. Breve informe de los antecedentes, gestiones y actividades realizadas para la construcción y supervisión de la Etapa II del proyecto de riego Yaque del Norte (PRYN). 9188, pp. 6-7.

7 **9,600ha brutas**. En agosto de 1982, fecha en la que originalmente debía empezarse la Fase II, no se sabía todavía el área neta a irrigar, ya que los estudios disponibles eran a nivel de pre-factibilidad.

Corregir. Según los supervisores, parte de los trabajos parcialmente terminados por el INDRHI, por administración, desde 1982 hasta enero de 1986, inconclusos por la rescisión del contrato con INCANTROBAS, tuvieron que ser demolidos y reconstruidos posteriormente, incluyendo algunas estructuras y obras de arte, por ICA-PEMISA.

8 **El presupuesto meta** tiene en cuenta: 1) el total de los costos fijos; 2) el total de los gastos meta en que incurra el contratista y aprobados por la supervisión y el INDRHI, necesarios para ejecutar la obra; 3) el total de gastos misceláneos, y 4) los honorarios. Este tipo de contrato es muy sensible económicamente a los retrasos en la programación de los trabajos debido a que implica costos fijos que a medida que haya retrasos producen sobre costos muy elevados.

9 **PRYN**. Op. cit., p. A-10.

La **supervisión** de los trabajos de construcción fue contratada en febrero de 1986 con el consorcio norteamericano HARZA-IECCA, firma que por retraso del INDRHI en abonar el avance inicial no pudo presentarse al proyecto sino siete meses después del contratista, encontrándose con una situación sumamente precaria¹⁰.

El informe final del consorcio supervisor (abril 1988) daba como que faltaban por terminar, entre las obras siguientes:

- 1) Canales principales. La construcción de la parte civil de dos caídas o saltos para aprovechamiento hidroeléctrico, que conectarían la Etapa II al resto del proyecto, entonces bajo riesgo. Así como la terminación de las tercerías y su revestimiento de hormigón, la construcción de nueve estructuras mayores entre cruces de carretera, sifones, vertederos y reguladores.
- 2) Canales secundarios: excavar, rellenar de ser necesario, y revestir de hormigón 78km de canales secundarios con sección trapezoidal. Y complementarlos con estructuras menores de hormigón armado (tomas secundarias, estructuras de repartición, alcantarillas, vertederos, puentes peatonales y vesiculares).
- 3) Drenaje principal. Excavar y construir 14.6km de un dren principal, sin revestir, con sección trapezoidal. Y rehabilitar 10.5km ya construidos, complementándolos con unas 43 caídas de hormigón y gaviones.
- 4) Drenajes secundarios. Excavar y construir, y/o remodelar unos 82km de drenes.

La **evaluación del costo de las obras que se quedarían sin terminar**, por los motivos ya expuestos, dentro del alcance original de la Fase II del proyecto, y ascendía a US\$4.9M y el tiempo adicional necesario para terminarlas sería de 4.5 meses. La unidad ejecutora y la supervisión estimaron que era más económico para el país que ICA terminara la segunda etapa, y quizás hasta la tercera (sic), por lo que recomendaron que el INDRHI pidiera autorización al Poder Ejecutivo para la continuación de los trabajos, fuera con una ampliación del financiamiento de México, a través del acuerdo de San José, o con fondos propios del GORD¹¹.

10 **PRYN.** Breve informe del proyecto de riego Yaque del Norte. 1986, pp. 3-4.

11 **EL ICA terminará** la Etapa II, ya que dicha compañía tenía los equipos y las instalaciones necesarias en el sitio, así como el personal técnico y de apoyo entrenado en este tipo de trabajo, la experiencia, la capacidad técnicas y económica para terminar la obra en el más breve plazo posible.

PRYN. Breve informe de los antecedentes, gestiones y actividades realizadas para la construcción y supervisión de la Etapa II del proyecto de riego Yaque del Norte (PRYN). 1988, p. A-12.

CUADRO AP 4.4.1
DATOS GENERALES DE LA FASE I DEL PRYN

Descripción	Contrato I	Contrato II	Proyecto
Área bruta (ha)	7,764	21,975	29,739
Área neta (ha)	5,152	16,458	21,610
Área existente bajo riego (ha)	2,400	14,752	17,152
Área nueva a incorporar (ha)	2,752	1,706	4,458
Área IAD (ha)	774	2,747	4,521
Área CEA (ha)	19	3,430	3,449
Área Cuota Parte (ha)	1,054	2,930	3,984
Nº Predios	1,535	4,349	5,884
Nº Propietarios	988	1,962	2,950
Nº Propietarios afectados por cuota parte	100	276	376
Nº Asentados cuota parte (aproximado)	335	938	1,267
Nº Unidades riego	179	572	751
Fecha de inicio	25/07/1977	12/08/1978	---
Km canales principales	33.5	46.26	79.76
Km canales secundarios	74.6	200	274.6
Km canales terciarios	500	1,110	1,610
Costo total aproximado (RD\$)	39.9M	52.8M	92.8M
Generación eléctrica	4,761	4,138	8,799
Nº Asentamientos colectivos	1	12	13
Nº Asentamientos individuales	0	3	3
Nº Propietarios más 500 ta	40	96	136
Nº Propietarios 200 - 500 ta	49	90	139
Nº Propietarios 100 - 200 ta	64	110	174
Nº Propietarios menos 100 ta	835	1,166	2,001

APÉNDICE 4.5

INFRAESTRUCTURA DE RIEGO EN EL VALLE DEL YAQUE DEL NORTE (1994)

A. DISTRITO DE RIEGO “ALTO YAQUE DEL NORTE”¹

CUADRO AP 4.5.1
CARACTERÍSTICAS GENERALES

Superficie física		36,953 ha
Embalses		3 (Tavera, Bao y López)
Zonas de riego		
	Santiago	15,324 ha
	Esperanza	13,985 ha
	Mao	7,644 ha
Agricultores usuarios:	Total	9,376 ha
	Santiago	3,746 ha
	Esperanza	4,349 ha
	Mao	1,281 ha
Canales:	Total	485.6 km de longitud
	Principales	259.9 km de longitud
	Secundarios	225.7 km de longitud
Drenes:	Total	162.4 km de longitud
	Principales	79.0 km de longitud
	Secundarios	83.4 km de longitud

1 El distrito de riego Yaque del Norte fue erigido como tal en 1977, y en 1981 fue desdoblado en dos distritos: “Alto Yaque del Norte” y “Bajo Yaque del Norte”. Distritos que no se identifican estrictamente con el Valle del Yaque del Norte, como puede observarse en el mapa adjunto, ya que se abarcan también la parte norte de la Cordillera Septentrional y las cuencas de los ríos Chacuey y Masacre.

Para una amplia descripción de los mismos y de su infraestructura de riego y drenaje, ver RAMÍREZ, Orlando, Distritos de riego de la República Dominicana. 1995, pp. 157-188, de donde hemos tomado los cuadros de este Apéndice.

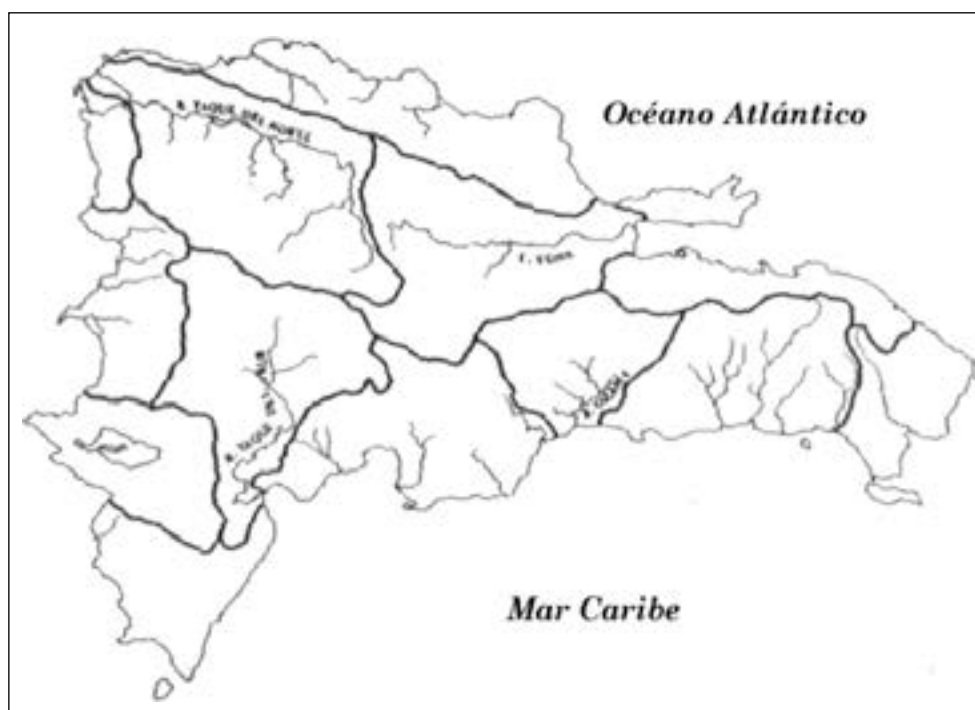


Fig. AP 4.5.1 DISTRITOS DE RIEGO DE LA REPÚBLICA DOMINICANA

CUADRO AP 4.5.2
CANALES PRINCIPALES DEL DISTRITO DE RIEGO “ALTO YAQUE DEL NORTE”

Canal	Caudal m ³ /s	Área Ha	Long. Km	Fuente
Ulises F. Espaillat	30.000	6,081	32.0	Río Yaque del Norte
Monsieur Bogart	7.000	6,000	37.0	Río Yaque del Norte
Amina	4.000	1,823	14.0	Río Anima
Los Almacigos	4.000	540	9.0	Río Yaque del Norte
Navarrete	12.000	880	25.5	Río Yaque del Norte
Cañeo	6.000	2,179	15.0	Río Yaque del Norte
Los Coroneles	3.000	723	10.5	Arroyo El Buey
Guayacanes Viejo	2.000	1,731	9.0	Dren Central
Guayacanes Esperanza	11.700	2,317	18.0	Río Yaque del Norte
Jicomé	12.500	4,953	42.4	Río Yaque del Norte
Prolongación Cañeo	3.000	2,082	18.5	Río Yaque del Norte
Mao Gurabo	6.000	4,843	30.0	Río Mao
Luis Bogart	2.000	2,704	6.8	Río Mao
Pelayo Tío	0.300	56	1.2	Río Mao
Diario Tío	0.300	41	1.0	Río Mao
Total	103,800	36,953	259.9	

B. DISTRITO DE RIEGO “BAJO YAQUE DEL NORTE”

**CUADRO AP 4.5.3
CARACTERÍSTICAS GENERALES**

Superficie física	34,245 ha
Embalses	2 (Monción, Maguaca)
Zonas de riego	
Villa Vásquez	11,304 ha
La Mata de Santa Cruz	20,168 ha
Dajabón	2,773 ha
Agricultores usuarios:	Total
Villa Vásquez	5,455 ha
La Mata de Santa Cruz	1,924 ha
Dajabón	2,546 ha
Dajabón	985 ha
Canales:	Total
Principales	245.8 km de longitud
Secundarios	118.5 km de longitud
Secundarios	127.3 km de longitud

**CUADRO AP 4.5.4
CANALES PRINCIPALES DEL DISTRITO DE RIEGO “BAJO YAQUE DEL NORTE”**

Canal	Caudal m³/s	Área Ha	Long. Km	Fuente (Río)
Villa Vásquez	12.000	8,248	9.4	Yaque del Norte
Roselia	6.000	3,056	19.2	Yaque del Norte
Fernando Valerio	16.500	15,723	27.0	Yaque del Norte
La Antona	6.000	3,762	10.6	Guayubin
La Invasión	1.000	440	1.7	Maguaca
Chacuey	0.800	243	1.3	Chacuey
Juan Calvo	2.000	1,281	13.2	Masacre
La Vigía	1.000	183	7.6	Masacre
Guajabo-Carbonera	1.000	538	12.0	Guajabo
Veterano I	0.150	90	0.7	Masacre
Veterano II	0.200	105	1.0	Masacre
Veterano III	0.400	110	1.3	Masacre
Don Pedro	0.300	95	0.9	Masacre
Hermanos Sodas	0.250	112	1.6	Masacre
El Coco	0.150	117	2.0	Masacre
Río Limpio I	0.200	25	2.0	El Valle
Río Limpio II	0.200	22	1.5	El Valle
Manuel Bueno	0.300	32	2.3	Manuel Bueno
Monte Higo	0.200	47	1.3	Monte Higo
Guayajayuco	0.200	16	2.5	Arroyo Guayajayuco
Total	48.850	34,9245	118.5	

APÉNDICE 4.6

PROMAF, PROMASIR Y PROMATREC

PROMAF

A principios de los ochenta empezó a preocupar el bajo rendimiento de las inversiones realizadas en infraestructura de riego, según los indicadores de productividad. Lo que se atribuyó a que, de hecho, las infraestructuras de riego se habían proyectado y realizado incompletas, así como al manejo inadecuado de los sistemas, incluido el manejo del agua a nivel de finca. Lo que producía, además, el deterioro de los recursos productivos de agua y suelo¹.

En 1983, el INDRHI firmó un convenio con el AID para poner en ejecución el **Proyecto Manejo de Agua a Nivel de Finca (PROMAF)**. En 1986 se crearon los dos primeros centros de manejo de agua: en Azua y Santiago, para el sur y el norte, respectivamente. Su objetivo prioritario era mejorar la productividad de los sistemas de riego mediante la organización de los usuarios y la transferencia de tecnologías. La experiencia del proyecto produjo avances importantes, aunque moderados, que parecía convenía profundizar y ampliar, adoptándolos por etapas, a todos los distritos de riego².

En 1987 se transfirieron canales secundarios a asociaciones de regantes, que evolucionaron a juntas de regantes con autoridad sobre todo el sistema (YSURA y PRYN). Y a partir de 1990 se crearon centros de manejo en Sabaneta, Bajo Yaque, Santa Cruz, Nizao-Valdesia, Pedernales y Constanza, transfiriendo a sus juntas de regantes siete de los más importantes sistemas de riego del país.

La experiencia ha demostrado que una vez los usuarios están organizados en juntas de regantes, y se les ha capacitado, son los mejores administradores de sus sistemas de riego en todos los sentidos. Y va madurando la idea de una nueva política de riego, con una radical reformulación del rol de los distritos de riego. Y en 1996 se oficializa el **Programa de Administración de los Sistemas de Riego por los Usuarios (PROMASIR)** a escala nacional, por etapas.

Es una política de racionalización de la operación de las tierras bajo riego basada en la transferencia de la responsabilidad sobre el funcionamiento de los sistemas de riego a los usuarios, organizados en juntas de regantes. La mayor eficiencia, así lograda, facilitará un aumento de productividad con mayores beneficios para los regantes. Permitirá ampliar el número de éstos, con el mejor manejo del agua, y un mejor uso del presupuesto del INDRHI al desmontar su paternalismo con la agricultura de riego³.

1 **INDRHI**. Programa de Manejo y Administración de los Sistemas de Riego por los Usuarios (PROMASIR). 1 Vols. Santo Domingo. Octubre 1995.

Documento preparado por el INDRHI a través de la Dirección del Proyecto de Manejo de Aguas a Nivel de Finca (PROMAF), encargado del proceso de transferencia de los sistemas de riego y drenaje a las juntas de regantes, para motivar la aprobación del financiamiento solicitado al BID para implementar dicho programa. El documento fue coordinado y dirigido por el Ing. Gilberto Reynoso.

INDRHI. Op. cit., Vol. I, pp. 1, 8-11 y 66.

2 **Sistemas de riego transferidos**: Alto Yaque del Norte (PRYN), Bajo Yaque del Norte; Nizao-Valdesia en Ozama-Nizao; ISURA, en el valle de Azua; sabaneta en el valle de San Juan de la Maguana; Valerio y Juan Calvo en el noroeste; y Aglipo en el Bajo Yuna. Sistemas que cubren 59,052ha (33% de la extensión total de los distritos de riego), beneficiando a 19,819 agricultores (44% del total de usuarios), distribuidos en 53 asociaciones de regantes y 1,309 núcleos de regantes.

INDRHI, Op. cit., Vol. I, pp. 9, 14, 17 y 56. Y en el Vol. IV, p. 5.

3 **INDRHI**, Op. cit., Vol. I, p. 19.

Paternalismo con la agricultura de riego que, más que desarrollar, subdesarrollo a los agricultores durante años y años, con su política de subsidios innecesarios, fomentadora de dependencia y clientelismo político, debilitando a los individuos y corrompiendo a la sociedad.

CUADRO AP 4.6.1
SUPERFICIE TRANSFERIDA A LOS USUARIOS ORGANIZADOS
EN EL VALLE DEL YAQUE DEL NORTE (SEPT. 1995)

Distritos de Riego	Superficie (Ha)			Usuarios (Nº)		
	Total	Transferidas	%	Total	Organizados	%
Alto Yaque del Norte	41,753	6,042	14	9,155	2,015	44
Bajo Yaque del Norte	33,007	11,362	34	5,091	2,485	28
Total RD	182,140	58,452	32	43,741	18,815	43

Fuente: INDRHI

Su objetivo básico es aumentar la eficiencia en el manejo y administración de la infraestructura de riego. Está dirigido a lograr la participación progresiva de los usuarios organizados en la operación, conservación y administración de la infraestructura hidroagrícola, hasta alcanzar la autonomía administrativa y financiera de los distritos de riego⁴.

El programa tiene tres componentes básicos: 1) rehabilitación de la infraestructura básica de los sistemas de riego hasta alcanzar las condiciones mínimas de eficiencia y operatividad; 2) organización y capacitación de los usuarios de los sistemas de riego para que asuman directamente la responsabilidad de su manejo; y 3) establecimiento de un sistema de información con estadísticas básicas que permita realizar la planificación racional, sostenible y descentralizada de la agricultura bajo riego a nivel de distrito y sistema, obteniendo los beneficios indicados⁵.

La meta de la primera etapa del programa (fijada inicialmente para el quinquenio 1996-2000) es transferir la responsabilidad de la operación, mantenimiento y administración de 40 sistemas de riego (unas 80,000ha), aumentando los índices de uso y eficiencia de los recursos suelo y agua, y beneficiando a 20,000 agricultores.

Y en el primer año serían transferidos seis sistemas de riego de una muestra seleccionada cuyas necesidades de mejoramiento de infraestructura, equipamiento, organización y capacitación fueron estudiados y analizados durante la fase de preparación del programa. Y entre ellos está el sistema Mao-Gurabo, situado en el distrito del Bajo Yaque del Norte, y que deriva el agua de riego directamente del río Mao.

METAS DE LA ETAPA 1

Transferencia de 40 sistemas en buenas condiciones de operación a juntas de regantes, abarcando 80,000ha y 20,000 usuarios en cuatro años.

40 sistemas de información, planificación hidroagrícola y control ambiental implantados en cinco años.

Eficiencia global del riego: incrementarla del 25 al 40% en seis años.

Gasto público (INDRHI, 1994) en operación y mantenimiento: reducirlo un 15% en seis años.

Cobro de tarifas: aumentarlo un 125% en seis años, sobre el nivel de 1994⁶.

El programa de apoyo a la nueva política incluye, además, el desarrollo de las condiciones institucionales y regulatorias a fin de asegurar el auto sostenimiento de los sistemas transferidos, mediante el cobro de las tarifas, así como el dotarlos del equipamiento mínimo necesario para que operen eficientemente los sistemas de riego. El programa hidroagrícola de largo plazo está dirigido

4 INDRHI, Op. cit., Vol. I, p. 58.

5 INDRHI, Op. cit., Vol. I, p. 15.

6 INDRHI. Op. cit., Vol. I, p. 20.

a propiciar el uso eficiente de los recursos agua y suelo y evitar su degradación, incrementando la eficiencia en el uso y conservación de la infraestructura y aumentar la producción y productividad agrícolas⁷.

Todo ello implica la *redefinición del rol de los distritos de riego*, en coherencia con la nueva política de descentralización del INDRHI, debiendo transformarse profundamente en sus aspectos operativos, técnicos y financieros. Las principales funciones que los distritos de riego asumirán en los sistemas administrados por las juntas de regantes, serán: 1) seguimiento y evaluación de los planes y programas de desarrollo de las áreas bajo riego; 2) operación de los embalses y entrega del agua en bloque a las juntas de regantes; 3) manejo y conservación de las cuencas hidrográficas, 4) recopilación y organización de las estadísticas agrícolas, climáticas e hidrométricas, y 5) asistencia técnica a las juntas de regantes en los aspectos de manejo de agua, operación y mantenimiento⁸.

Se estima que los beneficios al terminar el programa de rehabilitación y transferencia de los 40 sistemas de riego serán la incorporación de unas 26,370ha marginales a la producción, y la transferencia al sector privado de unas 100,900ha, actualmente bajo la administración de empresas estatales. Y al consolidarse la producción en las áreas beneficiadas por el programa, la producción se incrementará en unas 65,925Tm anuales (35,000Tm de granos básicos), un 10% del volumen promedio de la producción nacional. Lo que supondría un aumento de unos US\$31.6M (un 8.6% del valor anual de la producción nacional)⁹.

Los *beneficiarios directos* son los usuarios localizados en las juntas de regantes existentes, los usuarios ubicados en los sistemas de riego de la muestra seleccionada para la Etapa I y los usuarios localizados en otros sistemas proyectados.

El *costo total* del Programa de mejoramiento y administración de los sistemas de riego por los usuarios (PROMASIR) se estimó en unos US\$42M (1996), que fueron financiados por un préstamo del BID (US\$38M) y el resto por la contrapartida del GORD (US\$4M)¹⁰.

EL SISTEMA MAO-GURABO Y PROMASIR

El **sistema de riego Mao-Gurabo**, ubicado en el distrito de riego Alto Yaque del Norte, en la zona de riego de Mao, consta de dos canales principales: el Mao-Gurabo y el Luis Bogaert, que se abastecen directamente del agua del río Mao, tributario del Yaque del Norte.

El **canal Mao-Gurabo** tiene su obra de toma a unos 6km al sur del poblado de Valverde, Mao, estado construida por un dique derivador de hormigón, con una estructura de limpieza. Fue construido en el año 1927, con una capacidad de diseño de 6.5mcs, y se prolongó en 1936, teniendo en la actualidad 30km de longitud. Fue construido en su totalidad en tierra, al igual que sus laterales, ya que discurre a través de suelo arcilloso, por lo que las pérdidas por infiltración son mínimas, excepto cerca de la comunidad de Pueblo Nuevo, donde las mismas son considerables. Sitio donde es necesario el revestimiento de hormigón simple o encache en un tramo de 200m.

En la época de su construcción, el canal Mao-Gurabo estaba ubicado en la periferia de la ciudad de Mao, pero el crecimiento de ésta hacia el NO ha ocasionado que el canal cruce actualmente el centro de la misma, siendo convertido en drenaje de las aguas pluviales y receptor

7 **Equipo** que incluirá maquinaria pesada (dragas, tractores, retroexcavadoras, camiones de volteo) para los sistemas mayores que así lo requieran y que estén dispuestos a pagar su costo, así como a juntas de regantes que se agrupen para conformar una sola unidad de equipo pesado. INDRHI. Op. cit., Vol. I, pp. 16-17 y 22.

8 INDRHI. Op. cit., Vol. I, p. 36.

9 **Incorporación de unas 26,370ha marginales** a la producción, provenientes principalmente de la incorporación de las colas de los sistemas de riego, por el abastecimiento organizado y oportuno del agua de riego. Lo cual introducirá el principio de equidad y de la asignación óptima del recurso a todos los usuarios, al ser administrados los sistemas por los propios beneficiarios de los mismos. Y podrá intensificarse el uso de la tierra, pudiendo lograr una cosecha más por año.

INDRHI. Op. cit., Vol. VIII, pp.16-18.

10 INDRHI. Op. cit., Vol. I, p. 20.

Antecedentes de la transferencia de los sistemas de riego a los usuarios. Ver la ponencia de Juan R. Chalas en PROMATREC, en Seminario sobre transferencia de la administración de los sistemas de riego. Boca Chica, abril 1999.

de basura, al no estar construido en préstamo. Y provocó la construcción de obras de cruces (puentes, sifones, cruces peatonales y alcantarillados), que en algunos puntos limitan la capacidad del canal en época de lluvia. Lo cual se agrava con la falta de mantenimiento periódico, específicamente en el tramo que cruza la ciudad, incluyendo las obras de cruce.

El canal de riego Mao-Gurabo riega 4,321ha d 1,044 usuarios, predominando el sector privado. Un 15% de los usuarios son asentamientos individuales de la reforma agraria, con predios de 2.5ha¹¹.

Y el **canal Luis Bogaert**, que fue construido en el año 1907 por el Sr. Luis Bogaert, con la finalidad de irrigar sus grandes fincas. Se construyó con una capacidad de diseño de 4.03m³/s, pero en la actualidad sólo puede llevar un caudal de 2.0mcs. Su obra de toma, de hormigón, se localiza en el río Mao, 2km aguas abajo de la obra de toma del canal Mao-Gurabo, y al no disponer de dique derivador, se alimenta por el canal Palo Amarillo, lateral del canal Mao-Gurabo. Sirve a unas 1,696ha.

Tiene las mismas características en su trazado y concepción que el canal Mao-Gurabo. Ambos fueron construidos en tierra y hoy cruzan la ciudad de Mazo en su zona norte. Su abastecimiento de agua se ve afectado en la época de estiaje en el río Mao y su área de riego se abastece mediante laterales y drenes del área de influencia del canal Mao-Gurabo, interrelacionándose de forma tal en la parte baja, que funciona como un solo sistema en determinadas épocas del año. Tiene los mismos problemas de mantenimiento y la limitación de su capacidad en algunos cruces de calle en la época de lluvia que el canal Mao-Gurabo¹².

En el **sistema Mao-Gurabo** el drenaje es bueno en ambos sistemas, aunque se requiere la rehabilitación de todo el sistema y ampliar la red de drenaje secundario y parcelario. Los excedentes del riego se reutilizan y luego son canalizados hacia el río Yaque del Norte¹³.

Durante la construcción del canal Mao-Gurabo y por influencia de productores extranjeros, se organizó algo parecido a una junta de regantes. Esta organización prácticamente operaba el sistema de riego hasta que al ampliarse el canal en 1936, el Gobierno de turno desapoderó a esta entidad de la participación, y la administración fue asumida por el sector oficial.

El 30 de abril de 1991 se constituyó la asociación de regantes, que involucró unos 150 regantes y organizó brigadas de usuarios a lo largo del canal. El logro más sobresaliente de esta naciente asociación fue el éxito del operativo de mantenimiento llevado a cabo con equipos, maquinarias y trabajo a mano, en todo el sistema de riego, juntamente con el INDRHI. Este operativo permitió recuperar áreas que permanecían incultas por problemas de entrega de agua.

Los resultados positivos de este esfuerzo sirvieron de base a la formación de las demás asociaciones de regantes de la zona, para participar en la solución de los problemas de la administración del riego. En la actualidad hay diez organizaciones de regantes y productores en el sistema de riego Mao-Gurabo¹⁴.

La red de distribución está compuesta por canales secundarios (26km) y terciarios, no revestidos. Y el sistema de entrega parcelaria se realiza por canales cuaternarios y tomas directas, a través de compuertas y tomas construidas en tierra. La red se encuentra muy deteriorada, por falta de mantenimiento preventivo. Lo que unido a la carencia de cantidades considerables de compuertas, estructuras de medición de caudales, obras de cruce y tomas parcelarias, hace que el sistema opere con una baja eficiencia del orden del 35%.

11 INDRHI. Programa de manejo y administración de los sistemas de riego por los usuarios (PROMASIR), op. cit., Vol. IV, pp. 8-9, y Vol. V, p- 17.

12 INDRHI. Op. cit., Vol. IV, pp. 8-9.

13 La reutilización del agua es apreciable en el sistema Mao-Gurabo/Luis Bogaert, un 25% del agua regada. Y ha sido impuesto por la precariedad en el suministro a los sectores de la cola del canal y por la continua ampliación del área bajo riego, con la instalación de bombas en el sector de Pueblo Nuevo. INDRHI, op. cit. Vol. VI, p. 19.

14 INDRHI. Op. cit., Vol. IV, pp. 9-11.

La red de drenaje está compuesta por cauces naturales, rectificadas y complementadas por canales excavados, que colectan el exceso de agua de riego, así como las aguas de escorrentía en época de lluvia. Es suficiente y está bien ubicada, pero no opera con la eficiencia que necesita el uso intensivo del riego en la zona, ya que se encuentran azolvados, su sección hidráulica se ha deteriorado y su capacidad ha disminuido. La causa principal de su deterioro es la falta de mantenimiento y carencia de estructuras relacionadas, tales como estructura de entrada, abrevadero para animales y obras de cruce. Por otra parte, el sistema de drenaje de la parte baja funciona como canales de conducción, por lo que es imprescindible la limpieza y mejoramiento de prácticamente toda la red, para conseguir aumentar el suministro de agua¹⁵.

El área de riego se encuentra dividida en siete sectores que operan por turno, ya que en determinada época del año la demanda es mayor que la disponibilidad de agua, no obstante estar reforzada la red la doble, y en algunos casos, triple reutilización del agua mediante los drenajes en la parte baja. No se aprecian problemas de salinidad en el área de riego, debido principalmente a la buena calidad del agua que suministra el río Mao. Dos de los sectores temporeros funcionando sólo en el ciclo agrícola septiembre-marzo.

La superficie de riego actual del sistema es de 7,550ha, y existe un área potencial de 9,980ha. La principal limitación en el servicio de riego es la poca disponibilidad de agua del río Mao para abastecer todas las áreas regables, ya que su caudal no está todavía regulado. Problema que será solucionado por la próxima puesta en operación de la presa de Monción.

La meta del PROMASIR en el sistema Mao-Gurabo/Luis Bogaert es pasar el 30% de eficiencia global vigente al 45% sobre una superficie de 7,550ha. Y mantener una eficiencia al 60% en los próximos años sobre la misma superficie¹⁶.

La **Junta de Regantes de Mao** se formó en 1994 y en 1995 le fueron transferidos los canales Mao-Gurabo y Luis Bogaert, obteniendo personería jurídica en 1998. Comprende siete asociaciones de regantes con 240 núcleos de riego y 1,200 usuarios con un área bajo riego de 7,547ha.

Entre sus principales logros se cuentan los siguientes. Mejoramiento en la eficiencia de distribución de las aguas y seguridad en el servicio. Aumento del área bajo riego en un 30% respecto al momento de la transferencia. Nivelación de un 12.5% del área regada. Automatización del sistema administrativo y contable. Mejoramiento del cobro de las tarifas en más de un 53% y reajuste gradual de las mismas en un 62.5%. Resolución de conflictos en el nivel correspondiente y reconocimiento de la junta de regantes como una institución de servicios¹⁷.

PROMATREC

El **Proyecto de Manejo de Tierras Regadas y Cuenca del río Nizao (PROMATREC)** comparte la filosofía del PROMASIR, en cuanto a la transferencia de los sistemas de riego y el fortalecimiento institucional de las asociaciones de usuarios. Pero, tiene diferencias de énfasis en el mismo, incluyendo la dotación de infraestructuras y equipamiento. Y, por otra parte, se limita a tres sistemas de riego, mientras que aquel es a nivel nacional.

Su objetivo principal es mejorar los ingresos de los agricultores en las áreas seleccionadas, desarrollando y probando metodologías que puedan ser reproducidas a escala nacional, tanto para

15 Red de drenaje del sistema Mao-Gurabo: doce drenes de 32.9km de longitud y una capacidad total de 152m³/s.

El mantenimiento de canales y drenes se ve obstaculizado por la carencia de equipo y personal suficiente en la zona de riego. Las labores de reparación de canales de riego y estructuras, generalmente se realizan cuando éstas han colapsado, y por la presión de los usuarios, las autoridades realizan estas labores de emergencia. La coordinación entre las labores de operación y mantenimiento prácticamente no existe. Las labores de conservación y mantenimiento por parte de la zona de riesgo se programan teóricamente cada dos años para los canales, y cada cinco años para la red de drenaje. Mientras que su ciclo de limpieza debiera ser cada seis y doce meses, respectivamente. INDRHI, op. cit., Vol. V, pp. 22-23.

Mejoras de infraestructura en el sistema Mao-Gurabo/Luis Bogaert. Ver su detalle en op. cit., Vol. V, pp. 31 y 61-69.

16 INDRHI, op. cit., Vol. V, pp. 20, 24 y 31.

17 CRUZ SANTO, Nelson. Desempeño de la Junta de Regantes, Mao, pp. 1-2 y 6-7 (en PROMATREC, Seminario sobre transferencia de la administración de los sistemas de riego. Boca Chica, abril 1999.

BM-INDRHI, op. cit, Anexo 7.

el manejo de las aguas, operación y mantenimiento de los sistemas de riego, como para un manejo ambiental correcto de las cuencas y para los servicios de apoyo a la producción.

Incluye un programa de inversiones para mejorar el manejo de las aguas y de los sistemas de riego principales y de distribución. Así como la nivelación y drenaje de las áreas seleccionada, medidas de conservación de agua y suelos, entrenamiento de los agricultores en técnicas de producción y manejo del agua¹⁸.

Además, el proyecto enfoca el desarrollo sostenido y los asuntos ambientales de las cuencas altas, como una forma de alargar la vida útil de las presas y de los sistemas de riego y disminuir sus costos de mantenimiento. Desarrolla un programa piloto en la cuenca del río Nizao probando metodologías para la protección y el desarrollo agrícola sostenido de la parte más alta de la cuenca, aguas arriba de las zonas irrigadas, prestando atención a los problemas de deforestación y uso inadecuado de los declives montañosos que causan erosión. Y se hará un estudio sobre la cuenca alta del PRYN.

El proyecto beneficia a las juntas de regantes de Nizao-Valdesia, YSURA y PRYN, ubicadas en el área del proyecto. Las diferentes asociaciones de usuarios de agua y las asociaciones de comunidades agrícolas son consultadas ampliamente para el desarrollo del proyecto y juegan un rol activo en la preparación y ejecución del mismo, requiriéndose su aprobación para las inversiones propuestas y para los programas de fortalecimiento institucional de las mismas¹⁹.

Los beneficiados en la zona del PRYN I son 2,015 agricultores con unas 5,500ha de tierra, y de ellos muchos no tenían el título de propiedad de las mismas. Zona en la que se construirán 20km de canales/canaletas, se rehabilitarán 42km de drenajes, se repararán o sustituirán 32 compuertas, se harán once trabajos civiles de confluencia y escape, y se protegerán con zanjas dos canales principales, y nivelándose 3,400ha netas²⁰.

El PROMATREC se realiza en el área del PRYN, Contrato 1. Mientras que el PROMASIR lo hace en el área del PRYN, Contrato 2. El programa tiene cuatro componentes principales: obras de infraestructura de riego y drenaje, desarrollo agrícola, conservación y desarrollo de la cuenca del río Nizao y fortalecimiento institucional del INDRHI, de las tres juntas de regantes y de la junta de la cuenca del río Nizao.

La filosofía del proyecto surgió en 1988 a raíz del estudio Tres áreas prioritarias, realizado por el IICA y el INDRHI. Se perfeccionó con ayuda de una misión de la FAO (1992) y se concretizó en 1995.

CUADRO AP 4.6.2 INGRESOS POR COBRO DE AGUA

A. EN LOS SISTEMAS DE RIEGO ADMINISTRADOS POR EL INDRHI

Año Agrícola	Recaudación (RD\$ MM)	Área de riego (ha)	Recaudación (RD\$/ha)
1995/96	5.76	171,605	33.57
1996/97	13.30	171,605	77.50
1997/98	13.76	171,605	80.18

B. EN LOS SISTEMAS TRANSFERIDOS A LAS JUNTAS DE REGANTES

1995/96	9.34	54,939	170.03
1996/97	12.42	54,939	226.06
1997/98	13.76	171,605	80.18

18 BM-INDRHI, PROMATREC: Dossier del proyecto, 1998, pp. 14-17.

19 BM-INDRHI, op. cit. p. 15.

20 Parceleros con título de propiedad en el área del PRYN. De los 1,203 parceleros del PRYN, 99 ya tenían título de propiedad de la tierra, 735 tenían expedientes evaluados para su presentación a la comisión provincial y 369 tenían tierras pendientes de gestión para el título de propiedad.

BM-INDRHI, op. cit., Anexo 7.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

CUADRO AP 4.6.3
GASTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

A. EN LOS SISTEMAS DE RIEGO ADMINISTRADOS POR EL INDRHI

Año Agrícola	Recaudación (RD\$ MM)	Área de riego (ha)	Recaudación (RD\$/ha)
1995/96	59.98	171,605	349.57
1996/97	99.25	171,605	578.34
1997/98	71.78	171,605	418.33

B. EN LOS SISTEMAS TRANSFERIDOS A LAS JUNTAS DE REGANTES

1995/96	---	---	---
1996/97	9.83	54,939	178.96
1997/98	9.16	54,939	166.66

Fuente: INDRHI

APÉNDICE 4.7

LOS DISTRITOS DE RIEGO SEGÚN LAS CONSULTORÍAS DE 1991 Y 1996

Los informes de las consultorías de 1991 y 1996 profundizaron el diagnóstico acerca de situación de los distritos de riego y su baja productividad. Así como las motivaciones para decidir su reorganización partiendo de su descentralización de la administración de los sistemas de riego a los usuarios.

LA CONSULTORÍA DE 1991¹

Un objetivo del programa de fortalecimiento institucional del INDRHI, realizado por la consultoría de 1991, fue el de mejorar el funcionamiento y la estructura administrativa de los distritos de riego, para que pudieran ser administrativa y financieramente autónomos, mejorando así su productividad para los agricultores y el país².

La función del departamento de distritos de riego del INDRHI es la dirección y supervisión del desarrollo y mantenimiento de los mismos: supervisar, coordinar y administrar la distribución de las aguas dentro de los mismos. Conservar y operar los canales de riego. Y diseñar políticas para su mejor desarrollo³.

La consultoría de 1991 visitó varios distritos de riego, representativos de la problemática común y su **diagnóstico** fue que había: acentuada centralización de la toma de decisiones que afectaba la operación de los distritos; escasa coordinación interinstitucional para buscar soluciones a los problemas; alta concentración de personal capacitado en oficinas centrales, provocando su menor rentabilidad; amplia información estadística subutilizada; las estadísticas sobre el número de usuarios y el uso de las tierras regadas no son confiables; y no había información actualizada sobre costos de producción, mercadeo y rentabilidad de los cultivos más importantes.

Por otra parte, los requerimientos de agua en las zonas o distritos se estimaban en base a datos históricos, y no en base a los cultivos y área sembrada. La eficiencia en el uso del agua a nivel parcelario se estimaba en menos del 25%. Los estudios agrológicos eran poco utilizados en los programas de manejo de agua-suelo-cultivo, aunque existen en algunos distritos (PROMAF es el único que los usaba). Los usuarios no estaban capacitados para el manejo del agua y de las tierras, a pesar de los esfuerzos de PROMAF y de la Oficina de Desarrollo Agrícola. Y el agua era el insumo de más bajo costo en la producción agrícola con las tarifas vigentes, incluso en las reguladas por las juntas de regantes, a pesar de ser uno de los factores más importantes de su productividad.

No había sido posible hasta entonces poner en ejecución planes anuales o periódicos de riego, porque no existía un control sobre la extensión de las áreas a regar, los tipos de cultivo, ni sobre

1 **GÓMEZ, SANTOS – SERCITEC – NEDECO.** Programa de fortalecimiento institucional: informe final. INDRHI: Préstamo BID 570/SF-DR, Proyecto Sabaneta, mayo 1991.

La realización de esta consultoría fue una condición puesta por el BID para conceder el financiamiento solicitado para el proyecto Sabaneta. El informe final se completó en 23 manuales, reglamentos e informes especiales. Sobre la metodología seguida para su elaboración, ver op. cit., I - 1.2.

2 **GÓMEZ, SANTOS – SERCITEC – NEDECO,** op. cit., 4 4-1.

3 **El Departamento de Distrito de Riego** estaba integrado por: 1) la oficina de manejo de aguas; 2) tres divisiones operativas: conservación y mantenimiento, operación y control de embalses, riego y drenaje; y 3) los distritos de riego: Yuna-Camú, Bajo Yuna, Alto Yaque del Norte, Bajo Yaque del Norte, Valle de Azua, Valle de San Juan, Yaque del Sur, Ozama-Nizao y la Unidad Operativa del Este (UOPE).

la disponibilidad y entrega del agua. Y tampoco existían, normalmente, las estadísticas adecuadas que permitiesen medir la efectividad de los planes de riego. Se carecía de planes adecuados para el mejoramiento y mantenimiento de la infraestructura de riego debido, principalmente, a la escasez de los equipos necesarios, repuestos y financiamiento en el momento oportuno. Y la productividad de los principales cultivos sembrados era baja, además, como consecuencia de la poca asistencia técnica, falta de crédito oportuno, insumos costosos y plagas, como la mosquita blanca.

La falta de buenos niveles salariales en el INDRHI propiciaba que el personal capacitado emigrara a posiciones mejor remuneradas. El manual de funciones del departamento no se llevaba a la práctica, ocasionando que no funcionaran las diferentes divisiones como un conjunto. Se carecía de una reglamentación legal que permitiera tener los medios para imponer acciones correctivas a los infractores que no hicieran buen uso de las aguas. La poca autoridad en la toma de decisiones limitaba el buen funcionamiento de los distritos. Y la baja capacitación del personal de apoyo era otro impedimento, ya que se contaba con un reducido número de técnicos por distrito.

Las asociaciones de agricultores tenían una estructura muy débil y estaban enfocadas a servicios de ayuda mutua. Sólo algunas colaboraban en la limpieza y mantenimiento de los sistemas de riego, aportando mano de obra. El INDRHI promovió y asistió técnicamente a formación de las juntas de regantes del PRYN e YSURA, a través de PROMAF⁴.

La **recomendación** fundamental fue descentralizar los distritos de riego a fin de lograr su mayor eficiencia y productividad. Descentralizar la sede en Santo Domingo a los distritos de riego, y de éstos a las juntas de regantes.

Se recomendó una organización técnica y administrativa, adaptable a las características de los diversos distritos, que enfatizaba la asistencia técnica para incrementar la eficiencia en el uso del suelo y el agua, y la capacitación de los usuarios, la delegación de la operación, conservación y mantenimiento de los sistemas de riego mediante la formación de juntas de usuarios. Y, por otra parte, asignaba mayores responsabilidades a las zonas, en todos los aspectos técnicos y administrativos.

Autonomía administrativa y financiera que debía complementarse con un reglamento legal que apoyase las actividades, funciones y responsabilidades de las juntas de regantes, y otras instituciones oficiales y privadas implicadas. Así como disposiciones administrativas que permitiesen la utilización de los recursos obtenidos por cobro de tarifas y otros servicios, en la conservación y operación de los sistemas de riego –con control de lo recolectado e invertido, por la oficina central del INDRHI, mediante auditoría–.

La tarifa del agua que debería cubrir los costos de operación, conservación, mantenimiento y administración. Cobrándose a corto plazo en base al área y cultivo y, a media y largo plazos, en base al volumen entregado y al área irrigada. Y para ellos habría que actualizar el padrón de usuarios. Los programas de asistencia técnica a los usuarios con la participación interinstitucional de la SEA, IAD, BAGRICOLA, etc., donde el INDRHI fuese el coordinador y principal aportador de tecnología en el manejo del agua y de los suelos, permitirá el cobro de tarifas de agua sin subsidios al aumentar la productividad de las tierras y disminuir los costos de producción.

Otras recomendaciones fueron establecer planes anuales de cultivos y riego para incrementar la eficiencia en el uso del agua y del suelo, y dar confianza a los agricultores en la disponibilidad de agua, lo que facilitaría los ajustes de tarifas. Para lo que se necesitaría disponer de un banco de datos con información confiable y oportuna que permitiera planificar y tomar decisiones, para que los datos de producción agrícola e hidrología operativa se pudiesen usar rápidamente. Y proveer a cada distrito la maquinaria y el personal técnico calificado y debidamente incentivado salarialmente, aspectos indispensables para los programas de conservación de la infraestructura de riego, drenaje y caminos de acceso.

Y para una mayor autonomía en la toma de decisiones en cada distrito, se propuso fortalecer su administración con la creación de un consejo consultivo en cada uno de ellos, formado por representantes de los organismos involucrados en el sub-sector riego del distrito (INDRHI, SEA, BAGRICOLA, IAD, asociaciones de regantes, etc.⁵.

4 GÓMEZ, SANTOS – SERCITEC – NEDECO, op. cit. 4 1-7.

5 GÓMEZ, SANTOS – SERCITEC – NEDECO, op. cit. 4.4, pp. 13-14, 5.10 y Anexo 4.4 C.

Uno de los **objetivos** del programa era acelerar la entrega de los sistemas de riego a las juntas de regantes, mediante el traspaso de las redes completas de riego u otras modalidades de participación intermedia (tales como la cogestión distrital o la cesión), de su operación y conservación a partir de niveles secundarios de los sistemas⁶.

La implementación de la nueva estructura de los distritos de riego se propuso realizarla por etapas, a mediano y largo plazos, ya que había que implementar no solo la organización recomendada, sino también los programas que implica, en forma coherente y simultánea.

Y se enfatizó en que para que la implementación de su reorganización, lo más importante era la voluntad política de los últimos responsables del INDRHI, que fieles a dicha visión facilitasen los medios necesarios y dieran el debido seguimiento a la ejecución de la misma.

CONSULTORÍA DE 1996

Diagnóstico. *La infraestructura de riego* del país no disponía de obras técnicamente concebidas, a todos sus niveles, con escasas excepciones, lo que acarreaba baja eficiencia en el uso de agua y el continuo deterioro de la aptitud agrícola de los suelos por procesos de salinización y/o pérdidas de fertilidad.

Las redes principales y secundarias fueron diseñadas para operar con caudal continuo las 24 horas del día, y con una eficiencia total del 50%, pero no se contempló el diseño de redes terciarias y/o de entregas parcelarias, ni el consecuente ordenamiento parcelario. De hecho, los agricultores regantes solamente utilizaban el agua unas 8-10 horas diarias, y la eficiencia total no superaba en el mejor de los casos el 30%. Los sistemas de riego no disponían de las estructuras necesarias para una operación como la considerada en los diseños, por lo que la operación de los distritos de riego tenía un bajo rendimiento respecto a las inversiones hechas en infraestructura.

Los canales, tanto de riego como de drenaje, habían perdido sus secciones de diseño, las estructuras no cumplían con sus funciones específicas y las compuertas, como elementos vitales en la operación de un canal de riego, tampoco eran funcionales. La demanda de conservación y mantenimiento había sobrepasado la capacidad operativa de los distritos, causando el deterioro de las infraestructuras de riego y drenaje, haciendo más corto el ciclo de deterioro-rehabilitación, con la consecuente necesidad de hacer mayores inversiones en ellas⁷.

Problemas de producción. El índice de uso de las tierras era bajo, menos de un 80%, mientras que con buen manejo se contemplaban índices superiores a 150%, partiendo de los potenciales de productividad que disponía la agricultura con riego. Para ello se necesitaba una clara y firme política de apoyo a la producción bajo riego, con investigación, asistencia técnica, insumos y manejo adecuado de la finca, entre otros.

Entre sus grandes limitantes estaban: el mal manejo del agua a nivel de finca. El bajo uso en general de la tecnología moderna de producción (variando según distrito de riego, cultivo y tamaño de la finca. Su uso intensivo se daba solamente para el cultivo del arroz, tomate industrial, melón, tabaco y algunos vegetales). Y, por otra parte, predominaban las fincas pequeñas, de 2.5-4.0ha.

Todo lo cual implicaba una gran limitación para el desarrollo agrícola. El incremento de la producción, así como el uso sostenible de las tierras bajo riego, dependerá de la eliminación y reducción de estas limitantes.

Planificación y desarrollo del sector riego. El requerimiento total de productos alimenticios en la RD fue de unos 4M Tm/año en 1995, más del doble de la producción de dicho año (1.8M Tm/año). Y la agricultura de riego aportó un 50% de la producción nacional. De continuar esa tendencia, el déficit se agravará en el futuro, requiriéndose para el año 2000 unos 5M Tm/año.

De ahí que el riego tendrá un papel preponderante en la producción de alimentos agropecuarios, por su gran subutilización y enorme potencial, por lo que urge asegurar el pleno

6 GÓMEZ, SANTOS – SERCITEC – NEDECO, op. cit. 4.4, pp. 7-9, Anexo 4.4 A y Anexo 4.4 D.

7 PICHARDO B., Jesús M^a. Informe final de consultoría en distritos de riego. PRODAS-PFI, abril 1996, II, 4.

desarrollo de los distritos de riego, de las áreas equipadas de riego y de las nuevas a incorporar. La poca atención puesta al mantenimiento y conservación de la infraestructura existente, al desarrollo parcelario, al manejo de agua y al desarrollo de los servicios básicos, han constituido un cuello de botella hasta el presente, y su superación es vital y nuestra mayor esperanza en el porvenir.

El aprovechamiento del potencial de riego es el mejor, el único y más rápido medio incrementar la producción agrícola, en la entrega de agua.

Planes de cultivo y riego. En los distritos de riego no se realizaban planes de cultivo ni de riego. Los sistemas de riego eran administrados al sentimiento, sin conocer con suficiente exactitud los requerimientos hídricos de los cultivos, ni la superficie sembrada. Lo que provocaba grandes deficiencias, tanto por exceso como por defecto, en la entrega de agua.

El INDRHI, en la programación de la operación de los embalses, no podía defender las necesidades de riego en base a datos de requerimientos reales, sino en suposiciones de carácter histórico. Lo que debilitaba la defensa de las necesidades de riego ante las demás instituciones (CDE, CORAASAN, etc.), provocando una disminución de la disponibilidad de agua para riego en los embalses.

En 1991 se elaboró y entregó al INDRHI un Manual para los planes de cultivo y riego, por la consultoría de ese año, con las bases teóricas para su implementación por parte de los distritos de riego. Manual que nunca fue utilizado⁸.

El INDRHI *no tuvo política coherente de capacitación y retención del personal* capacitado en los distritos de riego, en los últimos años. En el pasado organizó cursos de entrenamiento con instituciones internacionales (CIDIAT, IICA, CATIE y otras), que elevó el nivel de preparación de la mayoría de los técnicos que laboraban en los distritos en esa época.

Pero la suspensión de estos cursos, el cambio del personal en los distritos de riego y los bajos salarios provocaron que en los últimos años muchos de esos técnicos no permanecieran en el INDRHI y que la mayoría de los técnicos actuales no haya participado en un entrenamiento formal de alto nivel en las áreas principales de administración de los sistemas de riego⁹.

Recomendaciones. Para descentralizar y fortalecer los distritos de riego se recomendó dotarlos de un sistema administrativo que les permita tomar decisiones oportunas y a tiempo, e implementar una política de personal que evite la carga de empleomanía innecesaria en los distritos de riego, reubicándola y/o reduciéndola. Y, por otra parte, habría que capacitar al personal técnico, principalmente los encargados de distritos, zonas y unidades con responsabilidad gerencial, para que se involucrasen en el seguimiento de las actividades administrativas¹⁰.

Con la entrega de los sistemas de riego a los usuarios, el área de operación/riego y drenaje debía concentrarse en: implementar programas que aumentase significativamente la eficiencia en la administración del riego. Fortalecer todo lo referente a la medición del agua, ubicando masivamente los medidores de agua. Mejorar el drenaje, con un esquema de control y saneamiento permanente.

El INDRHI debía continuar operando el sistema a partir de los embalses, en los casos que existan, y proporcionar agua contabilizada a la junta a partir de este lugar de entrega. Pero, a partir de ahí, debí tomar funciones de asesoría y seguimiento en materia de administración de agua y no interferir con los compromisos de operación asumidos por las juntas de regantes.

La Unidad de *Conservación de los distritos de riego debía ser fortalecida*, debiendo asumir la responsabilidad de diseño, presupuesto y supervisión de obras menores, así como de la adecuación

8 PICHARDO B., Jesús M^a, op. cit., II, pp. 5-6.

Planes de cultivo y riego. Los planteamientos y la metodología para establecerlos pueden verse en PICHARDO B., Jesús M^a, op. cit., III, pp. 10-11.

9 Las **áreas protegidas para la capacitación de los técnicos de los distritos de riego** son: 1) hidrometría de operación; 2) programación y operación de embalses; 3) planes de cultivo y riego; 4) elaboración de planes, proyectos y presupuestos; 5) diseño de obras hidráulicas de riego, y 6) gerencia del riego. PICHARDO B., Jesús M^a, op. cit., II, p. 10.

10 **Los requisitos recomendados para los puestos principales del sector riego** pueden verse en op. cit., Anexo Descripción de Puestos.

de cauces y las obras de protección que se realizasen en las cuencas hidrográficas. Y debía poder tomar decisiones en cuanto a los programas de conservación y mejoramiento, así como al manejo del equipo. Era el área técnica que más necesitaba ser descentralizada, pues la oficina central interfería y prácticamente inutilizaba las funciones de conservación y mejoramiento de los sistemas de riego. El compromiso de entrega de los equipos a las juntas de regantes no ha sido efectivo por parte del INDRHI.

La mayor parte de las funciones de las *divisiones del Departamento de Distritos de Riego* debían ser localizadas a nivel de cada distrito de riego. Las divisiones debían tener un papel normativo, de monitores y consolidación de las informaciones, siendo vital comunicar las divisiones y todo el departamento con las unidades de trabajo de los distritos, a través de un buen sistema computarizado.

Las *actividades de los distritos de riego y del Proyecto Manejo de Agua a Nivel de Finca* (PROMAF) se desarrollaban sobre un mismo espacio físico, tenían una misma naturaleza técnica, se apoyaban sobre una misma dirección institucional y respondían a los mismos clientes. La diferencia entre ellos radicaba en el distinto nivel de confianza hacia los organismos de usuario para la administración de los sistemas de riego. Los distritos entendían que el proceso de transferencia de los sistemas de riego a los usuarios debía ser más pausado, mientras que el PROMAF entendía que en la medida que la calidad del servicio decrecía era más urgente la necesidad de la incorporación de los usuarios a la administración del riego. A pesar de las limitaciones que tenían las juntas, su incorporación a la administración de los sistemas de riego había sido beneficiosa y oportuna.

La enseñanza más importante que dejó el Programa Manejo de Agua a Nivel de Finca (PROMAF), ejecutado por el INDRHI, fue que se imponía la descentralización, la desconcentración y la participación. No como una moda administrativa sino como una necesidad para cuidar un recurso cada día más escaso, y aprender a usar con mayor eficacia. Este cambio promovería un aumento en la capacidad productiva agrícola y ampliaría los beneficios del sector a un número más amplio de usuarios del recurso, y permitiría al INDRHI concentrar sus esfuerzos en funciones normativas y regulatorias, lo que haría más eficiente su gestión en el sector riego¹¹.

Cada distrito de riego debe organizar las informaciones claves para la programación del riego (datos climáticos, pluviométricos, de suelos y producción. Diseño e inventario de la infraestructura hidroagrícola. Estudios tarifarios, de desarrollo agrícola, organización, operación y mantenimiento y de organismos de usuarios) y darles uso.

Y el ingeniero responsable de operaciones del distrito, por su parte, en base a los datos facilitados por las organizaciones de usuarios, deberá diseñar el plan maestro para cada sistema, orientado hacia la conceptualización de entrega de agua en bloque¹².

El *Proyecto de Manejo de Cuencas*, según los expertos, sólo será una realidad cuando los distritos y juntas de regantes participen activamente en las actividades que se ejecuten en las cuencas hidrográficas. Pero, todavía está por definir la forma y manera de la intervención de tales entidades.

El INDRHI ha iniciado en los últimos años un programa trascendente, con miras a implementar **una nueva política de riego y organización del sector riego**, basado en la descentralización de la administración del agua de riego y la participación de los usuarios en el manejo de estos recursos. Especialmente donde la toma de decisiones debe definirse por los que están más próximos al área donde se ejecutan las acciones.

11 PICHARDO B., Jesús M^a, op. cit., II, p. 2 y pp. 31-33.

12 **La entrega del agua en bloque** a los sistemas de riego, en un punto determinado, para ser distribuidos por las juntas y asociaciones de regantes, así como a los grandes usuarios, que la reparten por sus propios sistemas de distribución. Permite su medición de manera confiable y continua, y establece la delegación entre la responsabilidad del INDRHI y los usuarios, facilitando la equidad en la administración del servicio.

Ver más sobre la entrega del agua en bloque en PICHARDO B. Jesús M^a, op. cit., III, pp. 5-8.

El fortalecimiento del Departamento de Distritos de riego y sus dependencias debe realizarse a partir de una redefinición de su misión, orientándola a labores de programación, normatividad, vigilancia, supervisión y monitoreo. Lo que implica una reducción importante del personal asignado a nivel central y un sustancial aumento en la calidad de los mismos. La automatización de las actividades de este departamento y sus dependencias, así como la modernización de los sistemas de comunicación, son partes esenciales del proceso de fortalecimiento.

Los distritos de riego deben asumir las responsabilidades del INDRHI, a nivel regional, que trasciende los límites de la administración del riego. Su misión debería ser orientada a la regulación, seguimiento a las normas y coordinación interinstitucional.

Y las zonas de riego, instancias operativas y ejecutivas del INDRHI, pasarían a ser responsables de acciones hasta ahora realizadas por otros departamentos del INDRHI. Sus funciones principales serían la coordinación con los organismos de los usuarios y la entrega del agua en bloques.

La transferencia de los sistemas de riego a los organismos de usuarios sería la base fundamental del proceso de descentralización y fortalecimiento de los distritos de riego. Y, dentro de ella, el punto clave lo constituye la promoción, consolidación y desarrollo de las juntas de regantes para afianzar su proceso de autogestión, así como el fortalecimiento y descentralización del Departamento de Distritos de Riego. Se recomendó que el PROMAF fuese la unidad ejecutora del programa de transferencia.

Por otra parte, el fortalecimiento del Departamento de Distritos de Riego y sus dependencias debe estar acompañado por el proceso de reformulación y fortalecimiento institucional del INDRHI. Muchas de las acciones de los distritos están interrelacionadas con otros departamentos, muy especialmente con los de planificación y financiero-administrativo.

El tema de la descentralización financiera es vital para preservar el servicio de riego. Es una necesidad insoslayable que los distritos de riego tengan un sistema financiero y administrativo ágil, sencillo y acorde con la naturaleza del servicio que ofrecen¹³.

El objetivo general de la reformulación del Departamento de Distritos de Riego es adecuar sus estructuras y sus dependencias para que asuman eficientemente el nuevo rol que desempeñará el INDRHI en la nueva política de riego y en la organización del subsector de riego y drenaje, basada en la transferencia de la responsabilidad sobre el funcionamiento de los sistemas de riego a los usuarios organizados en juntas de regantes¹⁴.

13 **Transferencia:** entrega y administración de los sistemas de riego a los usuarios, en PICHARDO B., Jesús M^a, op. cit., III, p. 1.
Dependencias del INDRHI con incidencia en los distritos de riego. Planificación, proyectos y obras. Proyectos específicos. Equipos y transporte. Hidrología. Pozos y bombas. Financiero, administrativo. Recursos humanos. Consultoría Jurídica. Programa de manejo de agua a nivel de finca. Manejo de cuencas.

14 **Objetivos específicos.** Ver PICHARDO B., Jesús M^a, op. cit., III; p. 2.

APÉNDICE 4.8

NUEVA ORGANIZACIÓN DEL RIEGO: INDRHI Y JUNTAS DE REGANTES¹

HISTORIA DE LA PARTICIPACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LOS USUARIOS

Hasta 1984 la administración del agua de riego fue centralizada en la RD, salvo el caso de los usuarios del canal Mao-Gurabo, desde la construcción de ésta hasta el trujillato. La administración, operación y mantenimiento de los sistemas de riego era responsabilidad del INDRHI o de las instituciones estatales que le precedieron, en todos sus aspectos, a través del Departamento de Distritos de Riego.

A finales de ese año se creó la base legal para las organizaciones de regantes con la aprobación del Reglamento general para la organización y funcionamiento de las juntas representativas de usuarios de los distritos y zonas de riego bajo la responsabilidad del INDRHI (Decreto N° 2588, del 20 de diciembre de 1984)².

En 1986 se empieza a implementar el Proyecto manejo de agua a nivel de finca (PROMAF) para mejorar la productividad de los sistemas de riego, a través de la organización de los usuarios y la transferencia de la responsabilidad para la operación y el mantenimiento de los sistemas de riego a grupos de productores organizados en juntas de regantes. Se crearon los dos primeros centros de manejo de agua, en Azua y en Santiago. Y los resultados obtenidos en la operación, mantenimiento y administración de los sistemas de riego que cubrieron todos sus costos de operación, mantenimiento y salarios sin necesitar subsidio complementario de parte del INDRHI.

El plan de transferencia era gradual, comenzaba con los canales parcelarios, luego los terciarios y secundarios hasta completar la red del sistema de distribución. La transferencia de los sistemas de riego no era acompañada de la rehabilitación de las redes secundarias de riego. El mantenimiento del canal principal y del sistema de drenaje seguía bajo la responsabilidad del INDRHI³.

INTEGRACIÓN DE LAS ORGANIZACIONES DE REGANTES A LA NUEVA POLÍTICA DE PROMASIR (1997)

Dentro de la nueva política de riego del Programa de administración de los sistemas de riego por los usuarios (PROMASIR), implementado en 1997, se pone especial énfasis en la descentralización de los distritos de riego como mecanismo para fortalecer los mismos, creando juntas y asociaciones de regantes, con sus consejos de administración, comisiones consultivas y sistemas de apoyo. Se

1 **INDRHI.** Programa de manejo y administración de los sistemas de riego por los usuarios (PROMASIR). Noviembre, 1996. Documento para solicitar un préstamo al BID para el financiamiento parcial de dicho programa (905/OC-DR). Fue elaborado por un equipo contratado por el INDRHI y dirigido por el Ing.

2 **Asociación de Mao.** Como ya dijimos, durante la construcción del canal Mao-Gurao y por influencia de productores extranjeros, se organizó una especie de junta de regantes que operaba, prácticamente, el sistema de riego. Luego de la ampliación del canal en el año 1936, Trujillo desapoderó a esta entidad de sus funciones y facultades, pasándola al sector oficial. Y en el proceso se castró el desarrollo de las asociaciones de usuarios hasta años después de desaparecido Trujillo, ya en los 80.

3 **INDRHI,** op. cit., Vol. 1, pp. 2, 14, 17-18 y 55. Y Vol. IV, p. 27.

confía que la integración de las organizaciones de regantes a la estructura operativa de los distritos permita el mejoramiento de la eficiencia necesaria en el manejo de los sistemas de riego y en la sostenibilidad de los recursos naturales asociados a estos sistemas⁴.

CUADRO AP 4.8.1
SISTEMAS DE RIEGO Y DRENAJE CON BUENA DISPONIBILIDAD
DE AGUA Y SIN PROBLEMAS DE USO DEL SUELO POR DISTRITO DE RIEGO

Distrito de Riego/Sistema	Área (ha)	Usuarios	Fuente de Abastecimiento (Río)
Distrito “Alto Yaque del Norte”	41,753	41,753	
1-PRYN I (UFE)	6,081	1,955	Yaque del Norte
2-PRYN II (UFE)	17,200	4,223	Yaque del Norte
3-Monsieur Bogaert	6,000	978	Yaque del Norte
4-Amina	1,823	387	Yaque del Norte
5-Los Almácigos	371	116	Yaque del Norte
6-Mao-Gurabo	7,074	1,044	Mao
7-La Isabela	500	186	Bajabonico
8-Luis Bogaert	2,074	231	Yaque del Sur
Distrito “Bajo Yaque del Norte”	33,077	5,091	
1-Fernando Valerio	15,244	1,947	Yaque del Norte
2-Roselia	3,056	517	Yaque del Norte
3-Villa Vásquez	8,248	1,417	Yaque del Norte
4-La Antona	3,762	485	Guayubín
5-Chacuey	1,050	46	Chacuey
6-Dajabón	1,647	679	Dajabón
TOTAL RD	182,140	43,741	

Fuente: INDRHI

Los *organismos de los usuarios* de un mismo sistema de riego, de un mismo canal principal, están compuestos por tres niveles operativos independientes: 1) el núcleo de regantes, que comprende a los usuarios de una unidad de riego del sistema; 2) la asociación de regantes, compuesta por todos los usuarios de un sector de riego, y 3) la junta de regantes, que reúne a los usuarios de todo el sistema de riego. La metodología empleada fue validada por el INDRHI con los usuarios de sistemas ya transferidos.

Los tres niveles se caracterizan por su autonomía operativa. Si bien mantienen entre sí y con el INDRHI estrechos vínculos gerenciales y técnicos que permiten una administración armónica del sistema de riego. Todos ellos tienen una doble característica organizacional: funcionan como organización popular y se desempeñan como organización empresarial, promoviendo que el usuario se involucre activamente en la administración, operación y mantenimiento del sistema de riego⁵.

4 1997 es el año en que empieza la implementación del PROMASIR. En una primera etapa se desarrolla en algunos de los sistemas de riego del país, pero su meta es cubrir eventualmente todos ellos.

5 INDRHI, op. cit., Vol. I, p. 24.

PICHARDO B, Jesús M^a. Informe final de consultoría en distritos de riego. PRODAS-PFI (INDRHI), 1996, pp. III.12.

Organización popular y empresarial. Los organismos de regantes deberán organizarse y redefinirse en términos de su misión. Además de los servicios relacionados con la administración del riego, deberán ofrecer otros servicios de apoyo a la agricultura bajo riego, que respondan a un mercado cada vez más demandante de los mismos. Tales como nivelación y preparación de tierras, asistencia técnica, servicios fitosanitarios, fomento de bosques energéticos a lo largo de canales y drenes, entre otros, op. cit., Vol. IV, pp. 24-25.

El usuario, organizado según este modelo, percibe que los beneficios de su participación son mayores que los costos, por lo que está en disposición de invertir esfuerzos y recursos para el desarrollo sostenido de la agricultura bajo riego. Estos beneficios son, entre otros, mayor disponibilidad de agua, reducción de los impactos degradantes y aumento de la rentabilidad de la actividad agrícola.

El *núcleo de regantes* es la célula base del modelo organizativo, y está integrado por todos los agricultores que usan el agua de una misma compuerta de riego, entre 15 y 30 usuarios, dependiendo de la distribución de la tenencia de la tierra.

Es responsable del cumplimiento de las normas de organización, limpieza de los canales parcelarios y del respecto del turno del riego. Colabora en el cobro de la tarifa de agua y tiene activa participación en las actividades de capacitación. Y no requiere de incorporación jurídica.

Las *asociaciones de regantes* están integradas por todos los núcleos de regantes bajo su jurisdicción, pudiendo operar a nivel de un canal lateral y/o principal. Agrupan entre diez y veinte núcleos, entre 200 y 1,500 agricultores. La asamblea de la asociación es su autoridad máxima, estando formada por los representantes de todos sus núcleos, que eligen el consejo directivo.

Son las unidades operativas para la distribución y entrega de agua, así como para el mantenimiento y conservación de la red menor de canales y de la asistencia técnica a los núcleos, a través de la junta de regantes. Reciben los programas de riego, manejo del sistema y asistencia técnica planteados por sus núcleos y deben canalizarlos a las juntas de regantes para su solución.

Las asociaciones de regantes tienen una vinculación directa con el encargado de distrito, en materias operativa y administrativa para asegurar un funcionamiento eficiente y oportuno de los sistemas de riego. Y la organización detallada de cada distrito de riego debe ser determinada por las características físicas de sus sistemas de riego (bombeo, canales, etc.), el grado de desarrollo de las organizaciones del distrito y la carga de trabajo que representan sus varias funciones.

Su nivel de autonomía le permite formular sus propias normas, reglas y proyectos, para adaptarse a sus circunstancias locales, a fin de ofrecer un servicio de agua más efectivo a los usuarios. Y, como ayuda para su gestión, contará con técnicos para la elaboración de los planes de trabajo, presupuestos, manejo y distribución del agua, conservación y mantenimiento de las obras de riego y drenaje, así como para el seguimiento de todo ello⁶.

Tienen un sistema contable-administrativo centralizado en la junta de regantes, con fondos independientes para cada una de las asociaciones. Los ingresos por recaudaciones de tarifas son depositados en la cuenta de la asociación que generó los ingresos, manejada por la junta de regantes. Y requieren incorporación jurídica.

La *junta de regantes* está integrada por todas las asociaciones que utilizan una fuente común de agua, un mismo sistema de riego, siendo el organismo máximo de los usuarios organizados dentro de un sistema de riego.

Su finalidad es garantizar el suministro de agua a los usuarios. Y para ello definir las políticas de administración, operación y conservación de las obras de riego trabajando con planes anuales, con metas a cumplir. Representa los intereses de las asociaciones para el logro de sus objetivos y metas en beneficio de los usuarios, por lo que participa en las deliberaciones institucionales a escala regional y nacional del sector agropecuario para la distribución del agua disponible en el país. Y ayudará a establecer sistemas agrícolas rentables y sostenibles, desarrollar mercados, mejorar la calidad de vida de los regantes, capacitar a los usuarios y proteger el medio ambiente⁷.

Su asamblea general está compuesta por representantes de cada una de las asociaciones de la junta, con voz y voto. Su consejo directivo está integrado por representantes de las diversas

6 INDRHI, Programa de manejo y administración de los sistemas de riego por los usuarios (PROMASIR), Vol. I, p. 24.

PICHARDO B., Jesús M^a. Informe final de consultoría en distritos de riego, Vol. II, p. 13.

7 **Junta de regantes.** Para más información, en general, ver INDRHI, Programa de manejo y administración de los sistemas de riego por los usuarios (PROMASIR), Vol. I, pp. 24-27, y PICHARDO B, Jesús M^a, Informe final de consultoría en distritos de riego, Vol. II, pp. 10-13. Y sobre sus objetivos, funciones, responsabilidad, patrimonio, derechos, obligaciones y órganos directivos, ver INDRHI, op. cit., Vol. I, Anexo V-10.

asociaciones miembros. Y cuenta con una gerencia operativa que coordina y ejecuta las políticas que señale el consejo directivo, a través de tres áreas de servicios (operación, mantenimiento y administración)⁸.

A finales de agosto de 1995 se habían transferido 58,452ha, un 25% del total del plan de organización y transferencia de los sistemas de riego a las asociaciones de regantes. Transferencia que se hizo a 19,815 usuarios organizados, el 28% de los usuarios finales.

CUADRO AP 4.8.2
AVANCE DEL PLAN DE ORGANIZACIÓN Y TRANSFERENCIA DE LOS SISTEMAS DE RIEGO
A LAS ASOCIACIONES DE REGANTES AL 31 DE AGOSTO DE 1995

Superficie bajo riego (Ha)				Usuarios		
Distrito	Total (ha)	Transferidas (ha)	%	Total	Organizados	%
Alto Yaque	36,953	6,042	16	13,218	2,015	15
Bajo Yaque	34,245	11,362	33	9,043	2,485	22
Yuna-Camú	27,546	0	0	2,015	0	0
Ozama- Nizao	16,447	13,516	82	5,825	4,113	71
Yaque del Sur	36,083	0	0	8,307	0	0
Valle de Azua	19,064	7,555	40	15,789	4,638	38
Valle de San Juan	31,727	13,045	41	8,088	3,404	43
Bajo Yuna	21,429	6,932	32	5,789	3,160	55
UOPE	8,179	0	0	14,143	0	0
TOTAL	231,673	58,452	25	82,217	19,815	2

Fuente: PICHARDO B.

La motivación y capacitación de la junta de regantes es clave para el éxito del programa. De ahí que tanto los núcleos como las asociaciones y juntas de regantes necesitarán la colaboración de *facilitadores* que, respetando la autonomía participativa de los usuarios, les ayuden a desarrollarse como tales⁹.

El programa de capacitación está orientado a fortalecer las estructuras, el funcionamiento y la participación de las juntas de regantes en la administración del riego, proporcionando a los usuarios los conocimientos técnicos, gerenciales, legales, ambientales y de dinámica de grupos para la administración adecuada y eficiente de los sistemas de riego bajo su responsabilidad.

La consultoría de 1996 recomendó hacer tres estudios como ayuda al fortalecimiento institucional de las juntas de regantes existentes y en formación: 1) plan estratégico de las juntas de regantes 1997-2007; 2) plan de gestión organizacional para la sostenibilidad de ingresos; y 3) programa de capacitación¹⁰.

8 **Gerencia operativa.** Funciones de sus tres áreas de servicios. Ver INDRHI, Programa de manejo y administración de los sistemas de riego por los usuarios (PROMASIR), Vol. I, pp. 25-27.

9 **Programa de capacitación.** Las limitaciones más importantes a superar por dicho programa pueden verse en INDRHI, op. cit., Vol. I, p. 29.

10 **PICHARDO B., Jesús M^a.** Informe final de consultoría en distritos de riego, Vol. III, pp. 15-21.

Plan de gestión para la sostenibilidad de ingresos. Las limitaciones financieras deben ser afrontadas a partir de un plan organizacional para la sostenibilidad. Los organismos de usuarios no pueden seguir apoyándose exclusivamente en el cobro de tarifas incompletas por el agua de riego y subsidios ineficientes del INDRHI para su desarrollo.

Deben transformarse en empresas financieramente autosuficientes. Esto significa que deben empezar a ver a sus miembros, usuarios o representados, como clientes, como un mercado. Y a los bienes, productos y servicios que les ofrecen, o pueden ofrecer, como respuestas empresariales que cubren las necesidades de sus clientes, produciéndoles beneficios.

PICHARDO B., Jesús M^a, op. cit., Vol. IV, pp. 24-25.

ORGANIZACIÓN Y CAPACITACIÓN DE LAS JUNTAS DE REGANTES

Las acciones propuestas para el desarrollo y fortalecimiento de las juntas de regantes tienen dos componentes. Uno de organización y el otro de capacitación.

El componente de organización se propone la formación de juntas y/o asociaciones de regantes en los sistemas de riego en los que se vaya implementando el PROMASIR, y el fortalecimiento de las juntas de regantes existentes. Así como la dotación de dos planes de consolidación: uno de gestión organizacional para la sostenibilidad y un plan estratégico 1997-2007.

La experiencia de las juntas de regantes en los sistemas de riego transferidos bajo PROMAF mostró una gran mejoría en la operación, mantenimiento y administración de los mismos. Experiencia que espera optimizar PROMASIR añadiendo a la transferencia de los sistemas de riego la rehabilitación previa de su infraestructura física y el fortalecimiento de las juntas de regantes, ayudándoles a superar sus debilidades y limitaciones con un plan integral de capacitación¹¹.

Las actividades de capacitación se dirigen tanto a las juntas de regantes, existentes y en formación, como a los técnicos que les sirven. Y contempla los siguientes módulos: promoción del programa, capacitación social, capacitación administrativa-gerencial, capacitación técnica, capacitación legal, capacitación ambiental y participación de la mujer¹².

11 PICHARDO B., Jesús M^a, op. cit., Vol. IV, pp. 10 y 17.

Limitantes del proceso de transferencia de los sistemas de riego y de las juntas de regantes. Los principales son: incumplimiento de los acuerdos por parte del INDRHI. Carácter conflictivo de las relaciones entre las instituciones del sector agropecuario y los organismos de los usuarios, que no participan en la definición y elaboración de políticas y planes, las decisiones son centralizadas y prácticamente no se difunden informaciones.

En las juntas de regantes existentes se presentan debilidades gerenciales-administrativas. En su toma de decisiones y en dar continuidad a las actividades, falta de liderazgo, relevo directivo conflictivo, pobre participación de los clientes del servicio de riego en la toma de decisiones y carencia de metas a largo plazo. Alto porcentaje de analfabetismo y baja capacidad administrativa de los productores.

PICHARDO B., Jesús M^a, op. cit., Vol. IV, p. 6. Y ver Vol. IV, pp. 18-21.

12 PICHARDO B., Jesús M^a, op. cit., Vol. IV, p. 10.

APÉNDICE 4.9

EL INDRHI SEGÚN LAS CONSULTORÍAS DE 1991 Y 1996¹

EL INDRHI

Marco institucional. El INDRHI (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos), entidad estatal autónoma, fue creado por la *Ley N° 6, del 8 de septiembre de 1965*, como máxima autoridad sobre las aguas nacionales superficiales y subterráneas de la RD, estando facultado para controlar y reglamentar su uso. Y fue reglamentado por el Decreto N° 1558, del 29 de junio de 1966².

Su *misión* es asegurar a todo el país un suministro de agua, presente y futuro, de calidad adecuada, suficiente y oportuna, a un costo aceptable. Misión en la que está complementado por las instituciones distribuidoras de aguas (INAPA, CAASD, CORAASAN), con las que forma el sector agua, así como por las asociaciones de regantes y otras organizaciones de usuarios. Misión que solo puede cumplir adecuadamente mediante la coordinación, planificación y eficientización de todo el sector³.

Por eso sus funciones principales son estudiar, planificar y ejecutar programas para el mejor aprovechamiento de las aguas en sus principales usos: agricultura, producción de energía eléctrica, uso doméstico e industrial⁴.

El rol del INDRHI ante la nación en general y el sector aguas es múltiple: máxima autoridad sobre las aguas, custodio de los sistemas hídricos naturales, tecnificador del sector aguas, coordinador del manejo hídrico de los sub-sectores en cada cuenca y a escala nacional, productor de aguas en bloque para su distribución en detalle a los usuarios por otras instituciones y sectores económicos, y asesor del Gobierno en cuanto a la política del sector agua. Forma parte del sistema nacional de planificación, con el que debe coordinar sus acciones, a través de ONAPLAN, que debe supervisarle a nivel técnico⁵.

1 **PICHARDO B., Jesús M^a.** Informe final de consultoría en distritos de riego. Abril 1966.

2 **Entidad autónoma**, con personería jurídica, patrimonio propio e independiente, duración ilimitada.

3 **GÓMEZ, SANTOS – SERCITEC – NEDECO.** Programa de fortalecimiento institucional: manual de planificación. 1991, pp. 100-1, 121.

INDRHI. Programa de manejo y administración de los sistemas de riego por los usuarios (PROMASIR), Vol. I Documento principal. 1996, p. 8.

Otras instituciones relacionadas con el INDRHI son ONAPLAN, la STP, la SEA, Foresta, los municipios, la CDE y las instituciones involucradas en el suministro de insumos a la agricultura de riego.

4 **Funciones principales**, más en concreto: 1) administrar, controlar y reglamentar el aprovechamiento de las aguas nacionales terrestres (cuencas hidráulicas, vasos de almacenamiento, manantiales, álveos y sus cause). Y organizar, dirigir y reglamentar los trabajos de hidrología en las mismas con la cooperación de la SEA y del IAD, cuando se trate de irrigación; 2) estudiar, proyectar y programar todas las obras hidroeléctricas necesarias para el desarrollo integral de las cuencas hidrográficas de la red, con sujeción a los planes nacionales de desarrollo y en coordinación con los organismos encargados de los demás tipos de obras de desarrollo. Y ejecutar las obras hidráulicas que sean convenientes. 3) Organizar y manejar los sistemas de riego nacionales. Y realizar estudios de suelos para fines de riego; 4) conservar y proteger las corrientes, lagos, lagunas y las cuencas alimentadoras del país. Así como corregir los torrentes, con la cooperación de la SEA, el IAD, Foresta y la SEOPC. Realizar los estudios geológicos relacionados con la existencia y aprovechamiento de los recursos hidráulicos, y con la construcción de las obras relativas, y 5) coordinar todas las actividades que se relacionen con sus fines.

5 **GÓMEZ, SANTOS – SERCITEC – NEDECO**, op. cit, pp. 240.000-2.

El sector aguas, la totalidad de las aguas nacionales superficiales y subterráneas, es un sistema hidrológico único, no admite fraccionamiento institucional. Las varias instituciones que componen el sector deben trabajar en forma ordenada y complementaria para asegurar a la población los distintos productos que necesita, derivador del recurso agua, a un costo aceptable.

**ESTRUCTURA ORGÁNICA DEL INDRHI
1996**

Consejo de Administración

Dirección Ejecutiva, con siete oficinas de apoyo (Consejo Técnico, Consultoría Jurídica, Relaciones Públicas, Auditoría, Comité de Licitaciones, Operación y Mantenimiento de Bombas)

Sub-Dirección Ejecutiva, con ocho departamentos (Supervisión y Cubicación, Hidrología, Pequeñas Presas, Planificación Sectorial, Proyectos, Control de Proyectos de Riego, Distritos de Riego y Desarrollo Hidroeléctrico)

Sub-Dirección Administrativa, con cuatro departamentos (Administración, Financiero, Transportación y Recursos Humanos)⁶

Y su *personal total* era de 5,018 empleados (1995, mayo), entre la oficina central y los distritos de riego. Es decir, un 47% más que en diciembre de 1991 (3,388 empleados), sin mejorar apenas el rendimiento de la institución. Por lo que se recomendó al INDRHI que clarificara sus metas, con sus índices de productividad, para racionalizar su plantilla y cumplir mejor su función social y conseguir una mayor economía. Lo que, por otra parte, le permitiría pagar mejor a su personal⁷.

Aspectos financieros. Los recursos financieros que utilizó en el período 1992-1994 provenían de diversas fuentes:

Aportes del Gobierno	80% del total
Préstamos externos	14%
Fondos de terceros y donaciones	3%
Ingresos obtenidos por servicios prestados	3%

La autonomía económica de la institución es muy baja. En 1996 fue de un 26.2% de su presupuesto de operación, y en años anteriores fue aún menor. Históricamente el Poder Ejecutivo ha sido el factor decisivo en la selección y priorización de las obras a ejecutarse⁸.

Los egresos en el cuatrienio 1992/94 estuvieron conformados en un 82% por inversiones de capital: construcción de obras y compras de maquinarias y equipos, y un 18% por gastos operativos.

El INDRHI es una institución de gran importancia social y para el desarrollo del país. Contribuye a la autosuficiencia alimenticia y energética del país mediante la organización de los sistemas de riego y el suministro de agua para la producción de energía hidroeléctrica. Contribuye a la salud de la población y al desarrollo económico al garantizar agua suficiente y de calidad adecuada, para uso doméstico, agrícola e industrial. Y contribuye al desarrollo y sostenibilidad de nuestro recurso natural "agua" al proteger los cauces y los sistemas naturales de aguas superficiales y subterráneas del país. Op. cit, p. 121.100-1.

6 El **Consejo de Administración del INDRHI** es el *organismo superior* del Instituto, dicta las disposiciones sobre la organización del instituto, acuerda los financiamientos necesarios para las operaciones, aprueba el presupuesto anual, vela por su ejecución, y dispone la contratación de técnicos.

Está *integrado* por el Secretario de Estado de Agricultura, presidente, el Director de la Oficina Nacional de Planificación (ONAPLAN), vicepresidente, cinco vocales (el Administrador General de BAGRICOLA, el Director del IAD, tres representantes del sector privado, designados por el Poder Ejecutivo por un término de dos años, y el Director Ejecutivo del INDRHI, nombrado por el Poder Ejecutivo (como Secretario).

INDRHI, op. cit., Vol. I, p. 43.

7 **Personal por departamentos y distritos de riego.** Ver INDRHI, op. cit., Vol. I, Anexo V-3.

8 **La autonomía económica de la institución era muy baja.** En 1994 fue de 24.3%, y el estimado de la ejecución para 1995 era de un 9.43%, aportando el resto el Gobierno central. AQUINO CAMANERA, Andrés, Informe final de consultoría en planificación. 1996, p. 12.

CUADRO AP 4.9.1
INDRHI – EJECUCIÓN PRESUPUESTARIA (1992/93)

Concepto	1992	1993
Total ingresos	65.5	55.4
Ingresos propios	1.8	1.4
Aportes fiscales	56.3	42.5
Préstamos externos	5.6	9.3
Otros ingresos	2.8	2.2
Total gastos	69.3	56.2
Gastos corrientes	7.3	12.4
Gastos de capital	62.0	43.8
Superávit / déficit	-3.8	-0.8

Fuente: AQUINO-CAMARENA

Los ingresos operativos fueron insuficientes para cubrir los costos de operación, que excedieron grandemente a los ingresos por venta de agua. Y, en dicho período, el Gobierno tuvo que aportar ocho veces el monto de los ingresos recaudados por el INDRHI de los usuarios del agua, para pagar los costos reales de la O&M del agua.

CUADRO AP 4.9.2
INDRHI – ESTADO DE RESULTADOS 1991-1994 (USM\$)⁹

Concepto	1991	1992	1993	1994
Venta de agua	6.2	4.7	4.8	4.7
Costo de operación	10.0	13.9	24.8	24.3
Ingresos netos operacionales	-3.8	-9.2	-20.0	-19.6
Ingresos netos no operacionales	4.9	7.4	11.8	11.5
Utilidad neta	1.1	-1.8	-8.2	-8.2

Fuente: AQUINO-CAMARENA

Por tanto, *las inversiones en bienes de capital fueron financiadas totalmente por el Gobierno*, que aportando fondos directamente y pagando los préstamos locales e internacionales, conseguidos por y/o para el INDRHI. Dada la insuficiencia crónica de fondos propios, por no cobrar adecuadamente el agua que sirve, el INDRHI no ha podido atender el servicio de dichos préstamos como le correspondía, según los contratos.

Las *inversiones* del Gobierno en obras de irrigación y de uso múltiple riego-energía, ejecutadas y/o financiadas por el mismo, fueron transferidas al INDRHI, física pero no contablemente. Con la consiguiente dificultad para asignarles la depreciación correspondiente y atender los compromisos a corto plazo¹⁰.

La tarifa de riego se cobraba unos dos años después de su facturación (773 días), como promedio. Morosidad que, siendo alta, no lo es tanto por parte de regantes, ya que BAGRICOLA

9 AQUINO CAMANERA, Andrés, op. cit., p. 53.

10 **Obras transferidas física, pero no contablemente**, al INDRHI. El saldo de la cuenta obras en construcción era de RD\$7,206.1M (31 dic 1994). De ese monto, el 62% correspondía a obras concluidas y en operación que no habían sido transferidas a sus cuentas definitivas (RD\$4,491.2M), en el INDRHI. Obras entre las que destacaba el proyecto Jigüey-Aguacate (RD\$3,966.7M). Por lo que se recomendó transferir anualmente las obras finalizadas al activo fijo en servicio del INDRHI, e iniciar el registro de su depreciación simultáneamente.

AQUINO CAMARENA, Andrés, op. cit., p.52 y anexo V-8.

retiene los cobros que efectúa a los agricultores en nombre del INDRHI, y no los pasa al INDRHI de inmediato. Se espera que con el traspaso de estas cuentas a las juntas de regantes, mejore notablemente la gestión de cobranza¹¹.

El INDRHI es una de las entidades públicas de RD que más ayuda internacional ha recibido. Desde su creación en 1995 hasta 1991, ha recibido créditos internacionales por un total de US\$453.1M para financiar obras de riego, drenaje, incluyendo presas de almacenamiento de agua (algunas de ellas, también para generación de energía). Destaca el aporte del BID, US\$124.8M.

CUADRO AP 4.9.3
INDRHI – APOYO FINANCIERO RECIBIDO DE LA COMUNIDAD INTERNACIONAL

Proyecto	Entidad Financiadora	Monto (M US\$)	Período de Ejecución
Yaque del Norte (PRYN)	BID	17.8	1980-86
Sabaneta	BID	59.0	1981-90
PRODAS	BID	48.0	1994-99
Nizao-Valdesia	BIRF	50.5	1981-88
Yaque del Norte (PRYN)	BIRF	13.0	1980-86
Manejo de aguas a nivel de finca (PROMAF)	AID	12.0	1983-90
PRODAS	FIDA	6.0	1994-99
FIDA III	FIDA	8.0	1991-95
AGLIPO	Gob. Japón	34.8	1982-89
AGLIPO II	Gob. Japón	90.0	1994-99
AGLIPO III	Gob. Japón	34.0	1995-99
Río Blanco	FIV*	95.0	1987-95
Río Blanco	Gob. Francia	30.0	1987-95
Jigüey-Aguacate	Gob. Italia	43.0	1987-93
Yaque del Norte (PRYN)	Gob. México	36.8	1980-86
TOTALES		453.1¹²	

* Fondo de Inversiones de Venezuela (FIV)

EL INDRHI Y LA CONSULTORÍA DE 1991

En dos ocasiones se realizó un **Programa de Fortalecimiento Industrial (PFI)** del INDRHI, con el propósito de ayudarle a mejorar su capacidad para cumplir con las funciones y responsabilidades que le asigna su ley orgánica.

Se desarrollaron mediante dos consultorías, con cargo al financiamiento otorgado por el BID para dos proyectos de riego, y como requisito de los mismos. El BID con el PFI quería ayudar a garantizar la eficiencia de dichos proyectos, y facilitar que el GORD, con una mayor eficiencia de los proyectos y una mejor recaudación de las tarifas por agua servida, pudiera amortizar los préstamos con facilidad, sin tener que gravar su deuda externa, lo que repercutiría en no poder satisfacer otras necesidades de la nación:

- 1991 Proyecto Sabaneta (Préstamo BID 570/SF-DR), y
- 1996 Proyecto PRODAS (Proyecto de Desarrollo Agrícola de San Juan de la Maguana (Préstamo BID 903/SE-DR)

¹¹ **Tarifa de riego.** Para más información, ver el Ap. 4.2, Servicios y tarifas de riego.

¹² **US\$453.1M.** En este cuadro faltan los financiamientos recibidos de la Comunidad Económica Europea, el Instituto Central de Crédito de Italia, el Instituto de Crédito Oficial y el Banco Exterior de España. AQUINO CAMARENA, Andrés, op. cit, p. 17.

Análisis institucional. Para la consultoría de 1991 el INDRHI *carecía, en la práctica, de la autoridad que le da la Ley 6* (la máxima ley del sector), como líder y máxima autoridad del sector aguas, y administrador del subsector riego. Rol, en el que sufrió importantes limitaciones históricamente, tanto por parte del Poder Ejecutivo como de otros sectores e instituciones creados por el mismo¹³.

El reto en la planificación del sector aguas es de organizar y coordinar todas las actividades del sector, dada su unidad, no obstante estar constituido por instituciones acostumbradas a obrar en forma independiente¹⁴.

Al examinar la estructura organizativa del INDRHI destaca cómo el programa organizativo de mayor importancia es *el desarrollo frenado de la institución*, faltándole muchas de las funciones que necesita para desempeñarse correctamente en el sector. Están fuertemente representados en las mismas las funciones de planificación, diseño y ejecución de proyectos, estudios de hidrología y operaciones de riego. Y sólo débilmente las funciones de administración de recursos financieros, humanos y materiales, lo que produce el frenado indicado.

Carece casi totalmente de las funciones necesarias para el desempeño de su rol en el sector aguas. Su responsabilidad ante el mismo no tiene expresión funcional alguna en su organización interna. El reto del sector aguas aumentará con los años, por lo que urge crear las funciones para desarrollar el rol de liderazgo en el sector aguas, que le asigne la ley, y prestar mayor atención al desarrollo de sus 19 funciones específicas principales:

1. Planificación sectorial
2. Coordinación sectorial
3. Planificación por cuenca¹⁵
4. Planificación subsector riego
5. Planificación subsector hidroeléctrico
6. Planificación subsector población e industria
7. Evaluación de resultados
8. Manejo hídrico de cuencas
9. Asignación de aguas
10. Conciliación de disputas
11. Conservación de sistemas hídricos naturales
12. Prolongación de la vida útil de infraestructuras
13. Optimización de costos
14. Recuperación de costos
15. Tecnificación del sector aguas
16. Uso racional de las aguas
17. Viabilidad económica del subsector riego¹⁶
18. Organización y métodos
19. Administración de los recursos de información¹⁷

13 **Liderazgo del sector agua.** Promoviendo de hecho la planificación del mismo, y su función normativa. Dando apoyo técnico e informativo a las entidades distribuidoras. Promoviendo la coordinación y cooperación entre las instituciones del sector aguas, para facilitar la entrega de agua suficiente, oportuna, de calidad y a un costo razonable, en forma progresiva, a sus usuarios.

Ver más ampliamente en GÓMEZ, SANTOS – SERCITEC – NEDECO, Programa de fortalecimiento institucional: manual de planificación, 1991, pp. 12.201-3 y 12.201.1-5.

14 **Unidad del sector agua e interrelación de sus funciones.** Ver su esquema en GÓMEZ, SANTOS – SERCITEC – NEDECO, Programa de fortalecimiento institucional: informe final. 1991, p. 4.1-3 (Cuadro 4.1.1). Esquema que resume todos los elementos clave que entren en la toma de decisiones del sector agua, su administración y la organización del sistema de planificación del INDRHI.

15 **Planificación por cuenca.** GÓMEZ, SANTOS – SERCITEC – NEDECO. Programa de fortalecimiento institucional: manual de planificación, pp. 230.000, 1-2 y ss. Y pp. 250.041.

16 **La viabilidad económica.** GÓMEZ, SANTOS – SERCITEC – NEDECO, op. cit., pp. 250.061-1, y pp. 250.062. 1-2

17 **Administración de los recursos de información.** GÓMEZ, SANTOS – SERCITEC – NEDECO, Programa de fortalecimiento institucional: informe final, pp. 250.101.

Por su parte, *los distritos de riego son la función predominante*. No en vano el INDRHI nació de la SEA y todavía está demasiado subordinado a las políticas generales de la agricultura nacional. Los distritos de riego en un organigrama funcional del INDRHI debieran ser reconocidos como “Subdirección de Riego” (subsector de la agricultura de riego). Y se recomendó además la “transferencia del manejo y administración” de los sistemas de riego a las asociaciones de usuarios y la sanción de un nuevo código de aguas, como su base jurídica de sustentación¹⁸.

La estructura organizativa del INDRHI recomendada por la consultoría se determinó en base a la misión, definición, análisis y jerarquización de las funciones necesarias para el desempeño de sus roles, como líder del sector aguas y administrador del subsector riego, y en base a las políticas y planes de desarrollo que aclararán las transformaciones necesarias. Puntos que fueron determinados por el Comité de Desarrollo Institucional¹⁹.

En esta organización meta, ideal de la institución, donde no todos los cambios organizativos recomendados pueden ser implantados inmediatamente, se distinguen tres niveles de organización y administración del INDRHI.

Estructura organizativa recomendada del INDRHI

La **dirección**, que establece políticas, guías e instituciones generales para los ejecutivos de la institución. Las instrucciones específicas están contenidas en los planes anuales de desarrollo y operación.

La **ejecución**, que realiza las instrucciones de la dirección. Su objetivo es el crecimiento o desarrollo de la capacidad productiva y fortalecimiento de la institución en sus varias funciones. Busca aumentar la producción, su eficiencia y eficacia²⁰.

Las **operaciones**: planificación, organización e implementación, ocupan la mayor parte del personal y del presupuesto, aparte la construcción de obras. Supervisión y retroalimentación de las mismas para asegurar el uso eficiente de los recursos financieros, humanos y materiales de la institución.

Los grandes retos que tiene que afrontar el INDRHI, para cumplir adecuadamente su misión son los siguientes:

1. La autosuficiencia financiera.
2. El balance negativo de aguas, donde la demanda excede la disponibilidad.
3. La erosión de las cuencas altas.
4. La reducción de la vida útil de los embalses.
5. El agotamiento de las aguas freáticas.
6. La baja productividad de las tierras bajo riego.
7. La salinización y sedimentación de las tierras regables.
8. La contaminación de las aguas.

18 **Subdirección de riego y la subdirección de administración de recursos humanos** (financieros, humanos, materiales, externos y de sistemas de información) debe ser el tercer elemento fundamental de la organización del INDRHI, GÓMEZ, SANTOS – SERCITEC – NEDECO, op. cit., p. 4.1. 22-23.

19 **Las políticas** son guías autoritativas para la toma de decisiones en los procesos de planificación, desarrollo y operación. Ver GÓMEZ, SANTOS – SERCITEC – NEDECO, op. cit., p. 4.1. 22-23.

20 **Estructura organizativa del INDRHI recomendada**. La organización meta habrá que conciliarla con la realmente posible en cada momento, en fidelidad a la meta programada. Los factores que más influyen en la adecuación de las funciones y responsabilidad con la meta del organigrama son la voluntad política de los últimos responsables de la institución, la selección, capacidad, formación y experiencia de los incumbentes, actuales y/o que se puedan integrar, y las funciones concretas que le son confiadas. En último término, sólo quien busca y pone los medios, consigue los fines.

GÓMEZ, SANTOS – SERCITEC – NEDECO, op. cit., pp. 4.1.2, 4.13-17 y 4.1.21.

Y las deficiencias más destacadas que se notaron en su organización, y que se deben a causas subyacentes, que deben ser solucionadas, son las siguientes:

1. No ha podido desarrollar ciertas funciones necesarias para el ejercicio de su pleno mandato.
2. Impotencia ante otras instituciones del sector aguas, que le dificulta ejercer su mandato de autoridad máxima del mismo.
3. Recursos inadecuados. Falta de autosuficiencia financiera para varias de sus funciones, que dificulta el desarrollo de sus operaciones.
4. Incoherencias internas, producto de la falta de un plan de desarrollo y de la corta permanencia de los directores y subdirectores en sus funciones, entre otros factores.
5. Salarios inadecuados, lo que hace difícil retener el personal cualificado.
6. Interferencias políticas en sus operaciones y decisiones.
7. Nombramientos y cancelaciones del personal, al margen de su rendimiento operativo. Alta tasa de rotación de los altos mandos.
8. Sistema de control presupuestario y de análisis de costos. Procedimientos de compras y desembolsos. Falta de informes sistemáticos y oportunos sobre las actividades y operaciones.
9. Funciones inexistentes o embrionarias: control del uso y calidad de las aguas. Capacitación de los recursos humanos. Conservación de los sistemas naturales de almacenamiento de aguas.

Recomendaciones. La consultoría planteó la necesidad de implementar programas de desarrollo y operación, como marco para la organización de los esfuerzos del INDRHI, para la superación de los mismos. No obstante estas deficiencias, el INDRHI pudo desarrollar algunas de sus funciones dentro de las limitaciones existentes, gracias a la dedicación y esfuerzos del personal²¹.

Los principales cambios organizativos propuestos fueron:

1. Reestructuración de los niveles directivo y ejecutivo, creando tres subdirecciones de los subsectores: producción de agua, riego y administración de recursos²², y
2. Descentralización de los distritos de riego²³.

Se impone liberar al Director Ejecutivo de una gran carga de trabajo de segunda importancia, y darle tiempo para afrontar los grandes retos de la organización y movilización del sector aguas²⁴.

Por ello se recomendó la creación de las tres subdirecciones (de agua, riego y administración de recursos) que se encargarán de la ejecución de los programas de desarrollo y operación de su sector. Y de referir al director ejecutivo los problemas que surjan y que afecten las decisiones y posiciones estratégicas tomadas por la institución y reflejadas en el plan sectorial.

Y se recomendó, asimismo, la creación de una oficina de grandes proyectos, que necesitan la atención constante de una persona de alta jerarquía, cerca del director. Su función sería similar a la de los subdirectores respecto a dichos proyectos²⁵.

21 **Diez programas de desarrollo y operación** para la superación de dichas deficiencias. GÓMEZ, SANTOS – SERCITEC – NEDECO, op. cit., pp. 4.1.26, 5.9-10,

22 **Subdirección del sector agua.** Ver sus funciones principales y departamentos que implicaría, en GÓMEZ, SANTOS – SERCITEC – NEDECO, op. cit. 250.042-1.

Subdirección de riego. Op. cit., p. 4.1.8.

Subdirección de administración de recursos. Op.cit, pp. 4.1.26, 5.9-10,

Y se describieron los requisitos técnicos que deben cubrir los altos cargos del INDRHI, salvo el de director, para satisfacer las funciones que se le confían con la mayor eficacia posible.

23 **Descentralización de los distritos de riego.** Op. cit., p. 4.1.18.

24 **Dirección Ejecutiva. Sus funciones principales** deben ser: 1) liderazgo del sector; 2) dirección del INDRHI; 3) relaciones con el consejo de administración; 4) relaciones con el Gobierno; 5) aprobación de estrategias de aplicación inmediata; 6) autorización de compromisos fundamentales: planes, contratos, acuerdos interinstitucionales, estrategias a largo plazo, políticas institucionales, normas; 7) sanciones institucionales; 8) intervenciones por mala administración.

GÓMEZ, SANTOS – SERCITEC – NEDECO. Programa de fortalecimiento institucional: manual de planificación. 1991, p. 250.012.1.

25 **Los proyectos “menos grandes”** serían supervisados por el “departamento de producción de aguas”. Y los proyectos “menores”, para la adecuación de los sistemas de riego, serán administrados por los distritos de riego.

Para el desarrollo del proceso de cambio, ver GÓMEZ, SANTOS – SERCITEC – NEDECO, Programa de fortalecimiento institucional: informe final. Mayo, 1991, p. 5.10.

EL INDRHI Y LA CONSULTORÍA DE 1996²⁶

Análisis institucional. La consultoría de 1996 compartió, básicamente, el análisis de la consultoría de 1991.

Recomendaciones. Insistió en la necesidad de redefinir la estructura del INDRHI como un organismo descentralizado, máxima autoridad de la política hidrológica del país. Desarrollar sus labores con sentido técnico, como elemento básico de la modernización y eficiencia de la institución, sin interferencias políticas o de otra índole.

Su organigrama debe ser funcional, reflejando con claridad las líneas de mando y responsabilidades, principalmente en el nivel operativo, a fin de fortalecer el manual de funciones y clasificación de puestos. Debe responder a la mejor administración de los recursos naturales y humanos de la institución, reflejando su nivel de autoridad y capacidad de acción.

Es necesario definir con la mayor claridad las funciones normativas y las ejecutivas, encaminadas a la implementación de las acciones que conforman su área de trabajo. En la actualidad se entrelazan las actividades de programación con las de ejecución, las normativas con las de implementación, lo que provoca una menor eficiencia en ambas.

Y hay que redefinir las relaciones y responsabilidad del departamento de planificación respecto a otros departamentos y/o programas para evitar duplicidades, interferencias e incluso planteamientos contradictorios, tanto en su metodología como en hipótesis de trabajo, en unos casos, antes facilitando la coordinación y el refuerzo, en otros.

La misión principal del departamento de planificación debe ser proporcionar a la dirección ejecutiva y al consejo de administración los elementos necesarios para tomar decisiones sobre las actividades que debe cumplir el INDRHI, de acuerdo a los mandatos de la ley que lo crea²⁷.

Recomendó dividir los programas sugeridos por la consultoría de 1991 en tres grandes grupos:

1. Plan para el manejo de las aguas de riego: operación, mantenimiento, mejoramiento y viabilidad económica.
2. Manejo hídrico de las cuencas, en base a la asignación de las aguas según las prioridades definidas en el código de aguas: capacidad productiva y tecnificación del sector aguas²⁸.
3. Fortalecimiento institucional de INDRHI. Apoyo a la dirección de coordinación sectorial y de administración de los recursos.

Y, entre otros énfasis y recomendaciones, destacan las siguientes:

1. Dado que el objetivo fundamental del INDRHI es el uso racional del recurso agua, para que contribuya al desarrollo económico y social del país al ser utilizada, es necesario que el departamento de planificación implemente un programa de trabajo

26 **La consultoría de 1996** se realizó como parte del Proyecto agrícola de desarrollo de San Juan de la Maguana (PRODAS). Su objetivo general fue también el fortalecimiento institucional del INDRHI, lo que facilitaría el buen desarrollo y amortización de dicho proyecto, sin gravar la deuda externa. Y el alcance específico de la consultora en planificación en concreto, era: revisar, actualizar e implementar las recomendaciones de la consultoría 1991 sobre este tema.

AQUINO CAMARENA, Andrés. Informe final de consultoría en planificación. 1996, pp. 1-2.

27 **Funciones de programación y de ejecución.** Las funciones de programación deben estar bajo la dependencia y responsabilidad del departamento de planificación, y las funciones ejecutivas bajo sus respectivos departamentos. En el programa de manejo de cuencas las actividades de carácter ejecutivo deberían pasar a los distritos de riego, y las de programación al departamento de planificación.

Ver **AQUINO CAMARENA, Andrés**, op. cit., pp. 24 y 33-38,

28 **Las prioridades de uso**, según el proyecto de código de aguas elaborado por la GTZ para el INDRHI, son las siguientes: 1) agua potable, acueductos; 2) irrigación; 3) abrevadero de ganado; 4) energía hidráulica; 5) industria; 6) minero; 7) acuicultura; 8) medicina; 9) recreativos. Y se recomendó que al señalar las prioridades y la cantidad de agua destinada a la irrigación, sean preferidas las tierras y empresas agrícolas de mayor utilidad e importancia social y económica.

AQUINO CAMARENA, Andrés, op. cit., pp. 11, 17-18 y 23. Ver Anexo N° 5.

- para conseguir el mejor ordenamiento, desarrollo y conservación de sus recursos hidráulicos. Así como que haya una coordinación de la política de asignación y usos de las aguas con la estructura administrativa de costos.
2. Se debe definir claramente que las funciones de programación deben estar bajo la dependencia y responsabilidad del departamento de planificación. Mientras que las de ejecución deben estar bajo sus respectivos departamentos.
 3. Hay que revisar y actualizar el inventario de los recursos hídricos de la RD. Y actualizar permanentemente el balance hídrico de las diferentes cuencas hidrográficas del país e indicar los estudios a realizar para aumentar el nivel de precisión de las informaciones.
 4. Y elaborar un plan integrado que agrupe todos los programas de cada una de las cuencas, que permita una metodología unificada en su elaboración. Así como la coordinación y ejecución jerarquizada de los mismos, de acuerdo con las características y necesidades de cada cuenca, dentro de los lineamientos de la política nacional definida.
 5. Por lo que se necesita disponer de un banco de datos básicos, bajo la dependencia y responsabilidad del departamento de planificación, con toda la información posible para poder servir a la institución. Y es muy importante tener una evaluación del grado de confiabilidad de dichas informaciones y un mecanismo de control permanente que permita mejorar su credibilidad, realimentación y utilización.
 6. Hay que definir una codificación estándar para todas las informaciones requeridas por el INDRHI. Se diseñó la ficha de proyecto para que incluya toda la información descriptiva del mismo y su grado de desarrollo, debiendo oficializarse, con pequeñas modificaciones, el sistema de información geográfica.
 7. Y se sugirieron modificaciones concretas a varias fichas del manual de planificación de 1991²⁹.

29 AQUINO CAMARENA, Andrés, op. cit., pp. 9, 21 y 39-43.

APÉNDICE 4.10

ACUEDUCTO CIBAO CENTRAL

ANTECEDENTES DEL ACUEDUCTO DE SANTIAGO

1504. La ciudad de Santiago, fundada por treinta caballeros en 1504, tenía su propio acueducto que tomaba las aguas del arroyo San Francisco. Acueducto que continuó supliendo agua por una tubería de barro hasta 1946, cuando las sacudidas del terremoto del 6 de agosto de ese año, destruyeron lo poco que había quedado de él.

1562. Santiago es trasladada a los terrenos donde actualmente se encuentra, por su destrucción cuando el terremoto de 1561, y se queda sin acueducto.

1912. El ayuntamiento de Santiago contrató a J. J. Moore para la construcción de las obras de servicio de agua y alumbrado eléctrico. El acueducto se inauguró en 1914, tomando sus aguas del arroyo Nibaje, funcionando muy poco tiempo.

1924. Se mejoró el sistema y pudo brindar nuevamente sus servicios.

1954. Se terminó la remodelación del acueducto de Santiago, contratada por el Gobierno con la Lock Joint Co. La toma se encontraba en La Zanja, Sabana Iglesia, en el río Bao.

1966. Se amplía el abastecimiento de Santiago con nuevas tuberías matrices que permiten incorporar caudales de distintas fuentes.

1970. Casi todos los municipios solicita que se remodelen sus acueductos, debido al aumento de la población del país. Y así se remodelaron o reconstruyeron nuevos acueductos en Santiago y otras localidades. Hacia 1970 se instalan electrobombas en Las Charcas, en el río Yaque del Norte, para suministrar agua a Santiago, si bien esa ampliación del sistema de bombeo no se consideraba la solución definitiva.

1976. Se amplía el acueducto de Santiago, alcanzando una capacidad de unos 31M de galos diarios (mgd), y a pesar de ello sigue siendo insuficiente para atender el crecimiento de la población. Se gestiona la construcción de un nuevo acueducto por gravedad, desde el futuro embalse de Tavera-Bao, que podría suministrar agua por gravedad a todos los sectores de consumo de Santiago y ser la solución definitiva para un período de cincuenta años. Y se crea la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santiago (CORAASAN)¹.

EL ESTUDIO DE LA CDE

En 1972, el acueducto de la ciudad de Santiago *podía cubrir la demanda hasta 1976*, teóricamente, con su capacidad de captación de unos 18mgd, de diversas fuentes. Pero, tenía pérdidas por fugas de un 45%, por lo que no satisfacía adecuadamente la demanda. De ahí que lo más urgente fuese reparar y mejorar el sistema de distribución, así como instalar medidores apropiados para cada servicio.

El agua potable era derivada de cuatro fuentes, procedentes de dos ríos: el Yaque del Norte, en las proximidades de Santiago (Las Charcas, Nibaje y Galería de infiltración) y el Bao, en Sabana Iglesia².

1 Cf. **RODRÍGUEZ F., Juan Tomás** (y otros). Historia de los acueductos en Rep. Dominicana (en Presas y sistemas hidráulicos en República Dominicana, 1979, pp. 39-59E).

2 **CDE**. Estudio de factibilidad Tavera-Bao, 1972, Vol. I- G, pp. 3-5, 8 y 67.

**FUENTES DE ABASTECIMIENTO PARA
EL ACUEDUCTO DE SANTIAGO 1972
DESCRIPCIÓN**

Sabana Iglesia. Estaba en el mismo cauce del río Bao, 1.5km aguas abajo de la futura presa de Bao y a unos 17km al SO de Santiago, con su estación de bombeo contigua en la margen izquierda. Consistía en un lecho filtrante de 12,400m², con una capacidad de 5.7M de galones diarios.

Las Charcas. Tenía una capacidad de unos 6.16M de galones diarios. Estaba compuesto por dos tanques de sedimentación, necesitando mantenimiento casi permanente para remover el sedimento, especialmente durante las crecientes del río Yaque del Norte.

Nibaje. El agua se tomaba directamente del río Yaque del Norte con la planta de tratamiento contigua. Su capacidad era de unos 4.56M de galones diarios.

Galería de infiltración de Nibaje. Estaba localizada contigua a la planta de tratamiento de Nibaje, cerca de la margen oriental del río Yaque del Norte. Su capacidad se estimaba en unos 1.60M de galones diarios³.

**CUADRO AP 4.10.1
FUENTES DE ABASTECIMIENTO DEL ACUEDUCTO DE SANTIAGO (1972)**

Fuente (Río)	Capacidad de suministro 1972		
	mgd	g/s	m ³ /s
Sabana Iglesia (Bao)	5.70	6,600	0.25
Las Charcas (Yaque del Norte)	6.16	7,128	0.27
Planta Nibaje (Yaque del Norte)	4.56	5,280	0.20
Galería de infiltración (Yaque del Norte)	1.60	1,848	0.07
TOTAL	18.02	20,856	0.79

El estudio de la CDE (1972) no pretende llegar a conclusiones definitivas ni a señalar los detalles de un proyecto de acueducto. Sino indicar la *factibilidad del aprovechamiento del embalse Tavera-Bao* para el suministro de agua potable abundante a la ciudad de Santiago y determinar la toma de agua a derivar para tenerla en cuenta en la construcción de la presa de Bao.

Según dicho estudio, la ciudad de Santiago disponía en sus cercanías de *otras fuentes de suministro* para su acueducto, satisfaciendo adecuadamente los requerimientos futuros. El río Yaque del Norte, que rodea la ciudad, disponía de un caudal suficiente para satisfacer la demanda total de agua potable e industrial, así como de riego para todas las tierras cultivables disponibles, y para la producción de abundante energía hidroeléctrica.

Y había *dos posibilidades principales para la construcción de un acueducto* adecuado:

- 1) Tomar el agua directamente del río Yaque del Norte y bombearla a Santiago.
- 2) Tomar el agua del embalse de Tavera-Bao y conducirla por gravedad a Santiago.
Lo que era posible aún en el caso de que las aguas fueran tomadas del embalse en la elevación mínima actual.

Y después de haber analizado estas dos alternativas, el estudio de la CDE de 1972 *recomendó la toma de agua del embalse de Bao*, para el acueducto de Santiago, porque

- 1) Representaba la mayor seguridad de abastecimiento para Santiago en cuanto a continuidad, cantidad y calidad del servicio.

³ CDE, op. cit., I-G/ 3-5.

- 2) Tenía la ventaja de que el agua se tomaba limpia, sin sedimento. Y, por tanto, las plantas de tratamiento complementarias resultan mucho más económicas en cuanto a la construcción y al mantenimiento de las mismas.
- 3) La solución propuesta por Hydrotechnic de tomar las aguas directamente del río Yaque del Norte no era una solución definitiva y sí muy costosa, por necesitarse grandes tanques de sedimentación y filtros, y tener, además, que bombear el agua con electrobombas⁴.
- 4) El acueducto por gravedad, con toma en Tavera-Bao, parecía técnica y económicamente como el más conveniente, siendo su diseño más fácil. Y, aunque la conducción resultaba más larga, sin embargo, su costo total era muy inferior al sistema por bombeo y la instalación de una planta de tratamiento. Y reducía los costos de operación y mantenimiento⁵.

El proyecto se concebía en tres etapas para cubrir el crecimiento de la demanda en los años 1980, 1990 y 2000. Hasta la entrada en operación del embalse de Bao el suministro de agua potable para la ciudad de Santiago tendrá que seguir haciéndose con las fuentes existente y tratando de aumentar la capacidad de suministro mediante obras de carácter provisional⁶.

Durante la realización del proyecto Bao debía construirse la toma de agua, con secciones tales que pudiera suministrar la cantidad de agua requerida con posterioridad al año 2000. Toma que se conectaría oportunamente con la planta de tratamiento, que podía situarse en una llanura cercana, a unos 350m de distancia⁷.

ACUEDUCTO CIBAO CENTRAL (ACC)

Introducción. La finalidad de la construcción del Acueducto Cibao Central (ACC) fue el abastecimiento de agua potable e industrial a Santiago, Moca y unas 61 comunidades intermedias, entre las que destacan las poblaciones de Tamboril y Licey al Medio. *Beneficiará* a una población aproximada de 1.5M de habitantes, por un período de 20 años. El alcance del proyecto fue ampliado en varias ocasiones a lo largo de su construcción.

La CORASAAN y la CAASD presentaron *dos alternativas para su construcción*, en 1987 y 1991, respectivamente, derivando el agua por gravedad desde el embalse de Bao, como había sugerido el estudio de la CDE⁸.

La Presidencia de la República convocó un **concurso para su construcción (1992)**, recibiendo 4 ofertas de alcance desigual, que fueron remitidas a la CAASD para su revisión y análisis por parte de la Comisión del ACC designada por decreto del Poder Ejecutivo. De ellas, una optaba por la solución por gravedad, desde el embalse de Tavera-Bao, y otra por la solución de bombeo⁹.

4 **HYDROTECHNIC Corp.** Estudio de factibilidad para el abastecimiento de agua potable para la ciudad de Santiago. 1969.

5 **CDE**, op. cit., I-G/9-10,

6 **Tres etapas.** Ver en CDE, op. cit., I-G, pp. 13-16.

La vida útil de las instalaciones de los acueductos y alcantarillados varía entre 25 y 50 años, promediando unos 35 años para todas las instalaciones.

7 **La toma de agua** debería ser instalada debajo de la cota 311, la elevación mínima de operación del embalse útil de Tavera-Bao. Y el punto más elevado de toda el área a servir por este acueducto está por debajo de la cota 225 metros, por lo que es una ubicación ideal para resolver por gravedad el problema del suministro de agua a la ciudad de Santiago.

CDE, op. cit. Vol. I-G, 13 y I-J, 38.

8 **Alternativas de CORASAAN y la CAASD.** Ver JORGE P., Marcelo – JORGE M., Jorge, Comparación de las alternativas propuestas para el Acueducto de Santiago, Moca y zonas aledañas. Marzo 1992, pp. 1-2.

9 **Decreto No. 94-92**, del 25 de marzo de 1992.

Cuatro ofertas de alcance desigual. 1) la oferta del Consorcio Nizao, por gravedad desde el embalse de Bao, era para la construcción de todas las obras del ACC, salvo las redes de distribución, que se dejaba a contratistas locales, por un valor de RD\$605M (20 dic 1991); 2) la de la firma TISA (Ing. Manuel Tillán), era por bombeo, desde aguas abajo de López, por RD\$227M ; 3) la del consorcio AYAFI (Acueductos y Alcantarillados, Femar e IACO), era para la línea de aducción de agua cruda a Moca, y r) la de la firma francesa PONT-A-MOUSSON, era para el suministro de la totalidad de las tuberías, piezas especiales y válvulas del proyecto ACC, por un valor de US\$23M.

La comisión concluyó proponiendo un *sistema combinado*, de tomas y conducciones, con un esquema hidráulico único con una capacidad total de derivación de un caudal no menor de $5.5\text{m}^3/\text{s}$ ($3.5\text{m}^3/\text{s}$ del embalse de Bao, por gravedad, y $2.0\text{m}^3/\text{s}$ del contraembalse de López-Angostura, por bombeo).

Solución que al derivar permanentemente unos $3.5\text{m}^3/\text{s}$ del embalse de Bao, y no por bombeo desde aguas abajo del contraembalse de López, implicaba *un costo por producción eléctrica no generada* (al derivar el agua sin turbinar) y otras consecuencias¹⁰.

Descripción general. La alternativa aprobada para la construcción del ACC *utiliza dos fuentes para la captación de sus aguas*: el embalse de Bao y el contraembalse de López, que recoge y regula de nuevo los caudales turbinados por la central hidroeléctrica de Tavera. Es un sistema dual de captación de agua, de operación independiente o conjunta. Esta integración permitirá la reducción de los caudales derivados del embalse de Bao, dentro de las necesidades del ACC, cuando los niveles de éste así lo requieran, a fin de “no afectar”, en lo posible, la generación de energía pico de la central hidroeléctrica de Tavera-Bao.

El sistema por bombeo proponía captar el agua en el túnel de carga de la central de López-Angostura, aguas arriba de la chimenea de equilibrio y la estación de bombeo está cerca de la zona del túnel de carga de dicha central. Estación que estaría provista de diez bombas, que trabajan entre las cotas 217-222m snm, y se conecta con la línea procedente del embalse de Bao mediante una tubería de hierro dúctil de 385m de longitud y un diámetro de 120cm. Cada bomba tendría una capacidad de $0.25\text{m}^3/\text{s}$ bajo una carga de 75m.

El sistema por gravedad deriva el agua del embalse de Bao por medio de un túnel y la conduce a través de una tubería de aguas crudas (13km de longitud y 1.70m de diámetro), hasta la cámara de distribución, aguas arriba de la planta potabilizadora de La Noriega.

La obra de toma en el embalse de Bao, al lado de la presa, está en la cota 304.5. Consiste en un túnel de 3.00m de diámetro, revestido de hormigón armado, con una tubería de acero en su interior de 1.07cm de diámetro, apoyada sobre soportes de hormigón. La conexión de la toma con el embalse se efectúa a través de un canal de aproximación. Y el agua se conduce hasta el aerador mediante una tubería de acero de 211m de longitud y 1.2m de diámetro.

La torre de toma es rectangular, de hormigón armado (1.85 x 3.20m de sección interior). Tiene dos orificios de entrada (1 x 2m cada uno) a diferentes niveles: el superior en la cota 316.50m/snm, y el inferior en la 306.50m/snm (ya que dicha torre funciona también como desagüe, para la alimentación del contraembalse de López cuando el nivel de los embalses de Tavera y Bao desciende por debajo de la cota del canal de interconexión (311m/snm), estando controlado cada orificio por compuertas deslizantes, equipadas con rejillas de protección. Y la torre de toma está provista de una derivación de 61cm para el abastecimiento de agua a las comunidades aledañas de Jánico y Sabana Iglesia.

La plataforma de operación de la torre está situada en la elevación 332m snm, a 4.50m por encima del nivel máximo de operación (327.50m/snm). Y el pozo de la torre de toma está en la cota 304.50m/snm, resguardado contra la invasión de las aguas del embalse¹¹.

10 **COMISIÓN DEL ACUEDUCTO DEL CIBAO CENTRAL.** Informe de evaluación de las ofertas recibidas para la construcción del acueducto Cibao Central. 1991, pp. 1-6.

11 **HERRERA P., Augusto**, op. cit., pp. 3-4.

La torre de toma de agua funciona, además, como un desagüe, para la alimentación del contraembalse de López cuando el nivel de los embalses de Tavera y Bao desciende por debajo de la cota de interconexión (311m snm). Y está provisto de una derivación de 700mm de diámetro para el abastecimiento de agua a las comunidades aledañas de Jánico y Sabana Iglesia.

La toma de agua construida en el embalse de Bao, cuando la construcción del mismo, en previsión del ACC, tuvo que ser sustituida por una nueva, ya que había sido proyectada para un caudal de $1.85\text{m}^3/\text{s}$, muy inferior a los requerimientos finales del ACC. Además, tenía su embocadura en el piso de la plataforma de la parte superior de la torre, sin control y en condiciones de difícil acceso, que la invalidaban para cumplir su función.

COMISIÓN DEL ACC, op. cit., pp. 13-14.

La cámara de distribución divide el flujo de agua en dos sectores: 1) uno, con un caudal de hasta 4m³/s, se dirige a la planta potabilizadora de La Noriega. Y, una vez tratada, sirve a las necesidades de agua potable de Santiago y sus comunidades aledaña, hasta cerca de Moca; 2) y el otro, con un caudal de hasta 1.5m³/s, se conduce hasta la planta potabilizadora de Moca, para satisfacer sus requerimientos de agua potable, así como los de sus comunidades vecinas no cubiertas desde la planta de La Noriega¹².

La línea de conducción desde la toma de Bao a la cámara de distribución de La Noriega está compuesta de un tramo inicial que cruza ríos (dos veces el Bao y una el Yaque del Norte), usando sifones con tubos de acero de 1.70m de diámetro interior. Las tuberías de ese tramo son de hormigón armado pretensado (7.5km de longitud).

Sigue un túnel de conducción a presión revestido, de hormigón armado (1.6km de longitud y 2m de diámetro interior) que salva una zona de relieve abrupto. Y un tramo final de tubería de hierro fundido dúctil (3.4km de longitud), a través de una zona de colinas y valles, típicas de la región donde está localizado el acueducto¹³.

De la planta potabilizadora de La Noriega parten dos líneas de conducción. La de Santiago, que continúa hasta Cienfuegos y alimenta varios tanques, y la de Tamboril, que tiene una estación de bombeo en Don Pedro para elevar el agua al tanque de distribución. Y desde la planta de Moca sale la línea hacia la ciudad de Moca¹⁴.

Una parte importante del ACC ha sido la construcción y adecuación de *redes de distribución*, con nuevas líneas matrices y tanques de regulación para las nuevas capacidades requeridas por el acueducto de Santiago, y prever su ampliación en el futuro, incrementando la capacidad de suministro en 11mdg¹⁵.

La longitud total de las líneas principales construidas es aproximadamente 94km, involucrando tubería de hormigón armado pretensado, tubería de hierro dúctil y tubería tipo Lock-Joint, así como tubería de acero en tramos cortos y en forma complementaria, en diversos diámetros, desde 1800mm hasta 300mm¹⁶.

Las plantas potabilizadoras han sido diseñadas para llevar a cabo en ellas los procesos de coagulación, floculación, sedimentación y filtración, a fin de eliminar la turbidez, el color y reducir las cargas bacteriológicas con un tratamiento final de desinfección con cloro para eliminar los organismos patógenos.

Se usó una tecnología adecuada a la realidad socioeconómica del país, a base de un funcionamiento completamente hidráulico, sin la utilización de equipos electromecánicos sofisticados ni la necesidad de bombeo para lavado de los filtros. El proceso de aeración para controlar olores y sabores, no se ha incluido en esta planta, ya que se efectuará en la cámara de desconexión situada a la salida del túnel de la toma del embalse de Bao¹⁷.

12 **Las plantas potabilizadoras de La Noriega y Moca**, con los niveles de entrada de agua en las cotas 273.36 y 237.09m snm, respectivamente, fueron diseñadas a base de módulos similares. La planta de La Noriega tiene ocho módulos y la planta de Moca tres. La capacidad de cada módulo es 0.5m³/s y cada planta tiene su edificio de control, casa de química, caseta de cloración, laboratorio, etc. El agua purificada es almacenada y clorada en las "cámaras de aguas claras" contiguas.

SWECO, Proyecto Acueducto Cibao Central: auditoría técnica. Resumen ejecutivo del informe final. INDRHI, 1995, p. 2.

13 *Ibid*, pp. 5-6.

14 **Líneas de conducción**. Para una descripción detallada, ver **SWECO**, op. cit., pp. 2-3.

15 **Tanques de almacenamiento de agua**. Se construyeron seis, con volúmenes entre 7,500m³ y 9,700m³. Todos los tanques son circulares con pared, y techo de elementos de hormigón prefabricado.

HERRERA P., Augusto, op. cit., pp. 1-3 y **SWECO**, op. cit., p. 4.

16 **Las tuberías de distribución** son de PVC, y algunos tramos de hierro dúctil, de diámetros variables, desde 400mm en algunos tramos troncales, hasta 50mm en las partes domiciliarias. Hasta septiembre de 1994 se habían conectado 623km, repartidos de este modo: red Santiago, 35%; red Moca, 14%; red Tamboril, 9%; red La Dura, 27%, y red Licey, 15%. Y se habían instalado unos 20,000 acometidas domiciliarias. **SWECO**, op. cit., p. 1.

17 Op. cit., p. 6.

Construcción. Los contratos principales fueron adjudicados a los consorcios Nizao y AYAFI, y a la firma Pont-a-Mousson. Y para dar trabajo a un gran conjunto de contratistas, se hicieron numerosos contratos de adhesión con precios calculados y fijadas por la CAASD¹⁸.

El costo total del proyecto ACC hasta julio de 1994 fue de RD\$1,463M, sin incluir las redes de tuberías, y de RD\$1,753M, incluyéndolas¹⁹.

18 **Contratos.** El Consorcio Nizao construyó la conexión y la toma en el embalse de Bao, el túnel de presión de Pangola y la línea entre la toma y el túnel. AYAFI ejecutó la línea desde la planta de La Noriega a Tamboril. PONT-A-MOUSSON suministró toda la tubería de hierro dúctil. SWECO, op. cit. Informe final, pp. 2-3.

19 Op. cit., pp. 7-8.

APÉNDICE 4.11

ACUEDUCTO CIBAO CENTRAL: VARIA

COSTO DE PRODUCCIÓN ELÉCTRICA NO GENERADA AL DERIVAR PARA EL ACC 3.5M³/S DEL EMBALSE DE BAO

Según algunos técnicos, por la derivación de 3.50m³/s de agua del embalse de Bao para el ACC, sin turbinar, **se dejarían de generar 19.25Gwh de energía pico** en la central hidroeléctrica de Tavera, con un valor de RD\$19.32M (1972). Y la central de Angostura, 7.7Gwh con una energía base con un valor de RD\$4.76M.

Es decir, que derivar 3.50m³/s del embalse de Bao implica un costo total por energía dejada de generar de RD\$24.1M, en un estimado conservador. Algunos han estimado las pérdidas por energía dejada de generar en unos RD\$34M (1972).

Por otra parte, una forma clásica de tratar los **costos económicos reales** del uso conjunto del embalse, como el de Bao, para riego, generación de energía y suministro de agua potables, es la asignación de los costos comunes a los proyectos beneficiados con el mismo. Costos que en el caso del ACC serían de unos RD\$16.8M anuales, por los 3.5m³/s derivados del embalse.

Este es el “costo encubierto” que las instituciones y los usuarios de los acueductos no pagan generalmente al captar el agua de los embalses (almacenamiento existente, pero que debe amortizarse), como ocurre en los casos de Valdesia y de Rincón. El no considerar este costo reduce también la presión en el cobro del servicio de agua potable y contribuye a generar la ineficiencia en la utilización del agua.

De ahí que algunos técnicos recomendaran la **solución por bombeo**, con una capacidad de 4.00m³/s, y toma en el túnel de carga de la central hidroeléctrica de Angostura, aguas arriba de la chimenea de equilibrio.

Esta solución, que es una evolución de las concepciones inicialmente expuestas por los Ings. Tillán y Lulo Gitte, tendría la ventaja de respetar la capacidad de la central hidroeléctrica de Tavera, elevada ya a 96,000Kw, al pie de la presa de Bao, según el proyecto de Harza (1977). Y, de este modo, sólo se afectaría la potencia de la central de Angostura en un 8%¹.

Un sistema de solo bombeo, según ellos, permitiría una solución con menores inversiones iniciales, al ritmo del crecimiento de la demanda de agua potable e industrial, y de las reducciones de la demanda de riego por un mejor manejo, así como de las crecientes necesidades de caudal mínimo ecológico entre Santiago y la desembocadura del río Amina. Caudal ecológico que deberá fluir de la presa derivadora de Otra Banda, en una cantidad no menor de 4.50m³/s, para garantizar los procesos de dilución y aeración en el río Yaque del Norte.

1 **JORGE P., Marcelo**, Informe del Ing. Marcelo Jorge Pérez (al Presidente de la RD), miembro de la comisión designada por el Decreto 94-92 para definir la alternativa más conveniente entre gravedad o bombeo para abastecer con agua para consumo humano la población del Cibao Central. Abril 28, 1992.

JORGE P., Marcelo – JORGE M., Jorge. Comparación de las alternativas propuestas para el acueducto de Santiago, Moza y zonas aledañas. Marzo 1992.

AUDITORÍA TÉCNICA SOBRE LA CONSTRUCCIÓN DEL ACC

El Estado dominicano delegó en la CAASD la **gestión de la construcción** del acueducto Cibao Central, quien convocó el concurso para las obras básicas. La supervisión del proyecto fue dividida en dos partes, que fueron encomendadas al Consorcio HARZA – IECCA y a la compañía JVP.

Y el GORD encargó al INDRHI la realización de una **auditoría** durante la construcción del proyecto a fin de dar seguimiento continuo tanto económicamente como respecto a la calidad de las obras. Auditoría que el INDRHI encargó a SWECO, quien reportaba directamente al Director Ejecutivo del INDRHI.

Para poder cumplir con sus tareas, la auditoría técnica dependía de las informaciones suministradas por la CAASD y las supervisiones, que debían reportar toda la documentación relevante del proyecto para el control de avance de las obras y la calidad de las mismas. El trabajo de la auditoría técnica ha sido documentado mediante informes mensuales, memorandos y notas. Y la calidad de las obras se comenta para las distintas partes del proyecto, en forma resumida y general, en el informe final, puesto que los informes de progreso mensuales presentados contenían la información más detallada.

Entre los **comentarios** de la SECO en el informe final de su auditoría técnica, destacan los siguientes.

“Se ha logrado construir en un corto tiempo el ACC, con una calidad de las obras muy variable. En el corto plazo, los trabajos pueden parecer satisfactorios, pero existe *un riesgo de que las deficiencias en la calidad de ejecución resulten en problemas en el largo plazo*, principalmente en menores rendimientos, pérdidas en el sistema y costos mayores de mantenimiento”².

“Al iniciarse la contratación de las obras del proyecto ACC solamente existía un *esquema preliminar* de la disposición de las mismas. Únicamente existían diseños básicos para las plantas potabilizadoras, los utilizados para la planta Haina-Manabao, mientras que para las otras obras los planos eran esquemáticos y poco elaborados, o no existían. Y, a pesar de ello, existía la decisión de iniciar ya la construcción del proyecto ACC para terminarlo en 1993”.

“Se utilizó un gran número de contratistas locales para la instalación de las tuberías de hierro dúctil (H.D.). Esto condujo a la subdivisión no solamente del proyecto, sino de las distintas obras en 47 contratos”³.

“En ciertas circunstancias la ejecución de *trabajos por administración* es una solución para agilizar trabajos complementarios fuera de los límites previstos en los contratos. Sin embargo, en el proyecto ACC, esta forma de administración también ha sido utilizada para completar trabajos que algunos contratistas no han realizado, por razones desconocidas para la auditoría técnica, aunque ellos tenían la obligación, según el contrato, de ejecutar y terminar el trabajo especificado. Y hubo casos en que se rehicieron o repararon trabajos ejecutados bajo otro contrato vigente”⁴.

“Otros *incumplimientos* han sido: la falta de planos constructivos y de la documentación definida en el contrato, falta de formalizaciones de las prórrogas de plazo, falta en mantener fianzas y seguros, revisión de precios fuera de lo estipulado en el contrato, falta de aviso sobre cambios del alcance del contrato”⁵.

“Aunque el contrato modelo específicamente definía la documentación que debía formar parte del contrato, había pocos contratos acompañados por planos y especificaciones. Estas faltas son graves y han podido contribuir a los incrementos innecesarios en los costos. Un factor que contribuyó a la falta de documentación fue la carencia de definiciones precisas de las obras a ejecutar en el momento de firmar los contratos. Y aún después de tener una idea sobre el alcance de las distintas obras no siempre se elaboraron planos constructivos como hubiese correspondido,

2 SWECO, op. cit., Informe final, pp. 8-9.

3 Op. cit., pp. 3. 1-2.

4 Op. cit., pp. 3. 9-10.

5 Op. cit., pp. 6-2.

especialmente para las excavaciones. Lo que dificultó la auditoría de dichas partidas por falta de información”.

“La intención de dar trabajo a un gran conjunto de contratistas a través de contratos de adhesión, con precios calculados y fijados por la CAASD, presenta varios inconvenientes y preocupaciones. Requiere una organización y dirección del proyecto muy fuerte y con mucho personal, así como supervisiones bien dotadas y con suficiente personal. Muchas veces los contratos por adhesión presentan precios más altos que los que podrían ser logrados en una licitación pública”.

“La calidad de la obra es muy variable, dado el desigual nivel de experiencia en los contratistas en este tipo de obras. Y, por otra parte, la subdivisión de las líneas en tramos, a veces muy cortos para cada contrato, produjo conexiones mal hechas, por lo que hubo que cortar los tubos y ejecutar juntas especiales. Y, en el caso de que se detecten pérdidas de agua en una línea construida por varios contratistas, puede ser complicado encontrar el lugar de origen de la fuga y decidir a qué contratista corresponde su reparación”⁶.

“La decisión de tener muchos contratistas trabajando al mismo tiempo también resultó en una gran demanda simultánea de equipo alquilado, especialmente en la última fase del proyecto. La disponibilidad de retroexcavadoras y grúas, por ejemplo, era limitada, causando atrasos y tiempo de espera para los contratistas. Situaciones que se pueden prever y superar con los recursos, la planificación y programación central de contratistas de mayor envergadura”.

“El trabajo de la auditoría técnica ha resultado complicado y difícil por la forma poco convencional de ejecutar las obras mediante una gran cantidad de contratos por adhesión. Además, importantes disposiciones establecidas en estos contratos modelo se han cambiado, con el evidente consenso de hecho de las partes”⁷.

ACUEDUCTO CIBAO CENTRAL DESCRIPCIÓN ESQUEMÁTICA (CAASD, 1997)

Sistema por gravedad

1. Obra de toma en presa de Bao.
2. Túnel 48" de diámetro y 135 m de longitud
3. Estanque de aireación
4. Línea de aducción 1,700mm (67") con longitud de 6,650m en hormigón pre-esforzado
5. Túnel de 200m de diámetro y 1,600m de longitud
6. Línea de conducción de 1,800mm (70") de hierro dúctil, con longitud de 3,860m hasta la cámara de partición en La Noriega.

Sistema por bombeo

1. Obra de toma del contraembalse de López.
Estación de bombeo equipada con diez bombas con capacidad para impulsar 2.0m³/s.
2. Línea de impulsión de hierro dúctil de 1,200mm (47") de diámetro y 320m de longitud, que se empala con la línea de 1,700mm de gravedad. En el punto de intersección se construyó una chimenea de equilibrio.

Otros componentes

1. Cámara partidora en La Noriega, que divide el caudal para ser conducido: 4.03m³/s a la planta de Santiago (La Noriega), 1.5m³/s a la planta de Moca (La Dura).

6 **Tipos de deficiencias.** Las observaciones presentadas en los informes de progreso y en el capítulo 7 del informe final, pueden dar una idea del tipo de deficiencias, por ejemplo: excavación y relleno en presencia de agua, relleno y compactación en capas demasiado gruesas, piedras grandes en contacto con las paredes de las tuberías, juntas en las tuberías de PVC con ángulos de desviación demasiado grandes y tubos en curvas con radios demasiado pequeños, conexiones de acometidas deficientes, falta de limpieza dentro de las tuberías y en los registros.

SWECO, op. cit., Resumen Ejecutivo, p. 13.

7 SWECO, op. cit. Informe Final, pp. 6. 2-3.

2. Líneas de conducción
 - a la planta de Santiago: 1,500mm (62") y 120m para conducir 4.0m³/s.
 - a la planta de Moca: 1,000mm (39"), 13,650m de longitud para conducir 1.5m³/s.
3. Plantas de tratamiento de filtración rápida modular
 - para abastecer la ciudad de Santiago: 4.0m³/s de capacidad (ocho módulos de 0.5m³/s c/u).
 - para abastecer Moca: 1.5m³/s (tres módulos de 0.5m³/s c/u).
4. Líneas de conducción de hierro dúctil
 - hacia los depósitos reguladores de Santiago, 1,500mm (60") de diámetro y 4,700m de longitud, 1200 (47" diámetro hierro dúctil), y el ubicado en La Ceiba: 30" L.J. con longitud de 2,300m.
 - desde la planta de Moca hacia la ciudad de Moca: 1,000mm (39") de diámetro.
5. Seis depósitos reguladores superiores de hormigón armado, prefabricados, con capacidad global de 52,000m³, ubicados en: La Trinitaria, Tierra Alta, Gurabo II, Cienfuegos, La Ceibita y Tamboril.
6. Estación de relevo en Don Pedro, con capacidad para impulsar 150 l/s hacia Tamboril.
7. Redes de distribución en hierro dúctil, L. J. y PVC, desde 36" hasta 3" con longitud aproximada de 340km.
8. Acometidas: no hay información disponible.

APÉNDICE 4.12

AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA CORDILLERA CENTRAL Y EN EL VALLE DEL YAQUE DEL NORTE¹

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, **el aprovechamiento del agua subterránea en la RD es muy reducido**, en comparación con el del agua superficial.

En 1983 *se aprovechaban unos 250M m³/año*, quedando sin usar unos 1,200M m³/año. El uso del agua subterránea estaba relegado a un papel muy secundario debido, en gran parte, a la abundancia relativa de recursos hídricos superficiales en RD, así como a la carencia de información básica para analizar las posibilidades de utilización de este recurso. Situación que apenas ha variado en la actualidad².

El aprovechamiento principal del agua subterránea en la RD se concentra en la zona de Santo Domingo, donde se utiliza para uso doméstico, juntamente con recursos superficiales.

Y su uso para riego es muy limitado, destacando el que tuvo en la llanura de Azua hasta 1976, fecha en que cesó prácticamente, al trasvasarse a esta zona parte de las aguas del río Yaque del Sur. Pero, en el futuro *será necesario contar con las aguas subterráneas para poner bajo riego más tierras*, ya sea usándolas por sí solas, ya en combinación con las aguas superficiales³.

El volumen total de aguas subterráneas en RD es de unos 1,400 a 1,500M m³/año. Estudiadas las demandas y disponibilidades de agua se concluyó que en el país hay recursos de agua suficientes (superficiales y subterráneas) para cubrir las necesidades futuras previstas, hasta más allá del año 2000.

Pero, el aumento de la demanda será de tal magnitud (pasar de 2,500M m³/año en 1983, a 4,900M m³/año en 2000), que significará *casi duplicar la capacidad de abastecimiento total, en esas dos décadas*. Lo que exige prepararse para hacerle frente, en cuatro campos clave: organización, planificación, ejecución y financiamiento⁴.

CORDILLERA CENTRAL

La zona de la Cordillera Central **es la mayor de las catorce zonas hidrogeológicas de la RD** (14,000km²). Se estima que *el flujo subterráneo de la Cordillera Central se ajusta a una pauta más o*

1 TAHAL. Plan Nacional de Investigación, Aprovechamiento y Control de Aguas Subterráneas (PLANIACAS), BID-INDRHI. Santo Domingo, abril de 1983.

El proyecto **Planiacas** (INDRHI-BID, 1980) ha sido concebido para crear una infraestructura de información y conocimiento acerca del agua subterránea en la RD, como primer paso para el desarrollo de los recursos hídricos subterráneos en forma científica y sistemática. Y todo ello fortaleciendo al INDRHI como institución base para evaluar la información disponible e impulsar el desarrollo y aprovechamiento de los recursos hídricos subterráneos del país.

2 **El agua subterránea ha quedado relegada.** Los argumentos más comúnmente esgrimidos para justificar la preferencia por el agua superficial son el “costo adicional por energía para bombear” el agua subterránea, los “problemas que pueden presentarse con la operación y mantenimiento” de los equipos de bombeo, y cierto recelo ante la incertidumbre de la prospección y captación del agua subterránea”.

3 **Su uso para riego es muy limitado.** En 1980 la capacidad anual de bombeo de los pozos del INDRHI era de unos 43M m³/año y no se aprovechó ni el 50% de su capacidad en dicho año, menos del 1% del total de agua utilizada para riego. Y el Plan Quinquenal 1981-1985 del INDRHI, que contemplaba incorporar al riego unas 56,000ha y de ellas sólo preveía regar unas 2,600 (menos del 5%) con agua subterránea.

4 TAHAL. I/ 1 a-c.

menos similar a la del flujo superficial, y a su topografía, en vista de la geología de la zona⁵.

Y recibe una recarga anual muy importante, dada la elevada precipitación de la zona. En ella nacen la mayoría de los grandes ríos del país (el Yaque del Norte, Yaque del Sur, Yuna-Camú, Haina, Nizao y Ocoa).

Las aguas superficiales y subterráneas procedentes de la Cordillera Central participan en la recarga del Valle del Cibao y otras zonas geomorfológicas circunvecinas⁶.

Es la más problemática de las zonas hidrogeológicas del país para su estudio. La mayor parte de su superficie está cubierta por rocas magnéticas metamórficas, que no pueden ser estudiadas por métodos hidrogeológicos convencionales. Esta situación cambia cuando se trata de las partes más bajas, al norte y sur de la región. En ellas aparecen ya series de "rocas sedimentarias" en las que cabe aplicar métodos hidrogeológicos, al menos en base regional.

Sus formaciones son impermeables, en general, si bien puede haber acuíferos que abastezcan necesidades locales limitadas. Están constituidas por rocas magnéticas y metamórficas, así como por formaciones sedimentarias y volcano-sedimentarias.

El acuífero aluvial parece ser el único explotable por el momento. Hasta ahora los únicos acuíferos comprobados se localizan en los valle intramontañosos aluvionales de la cordillera (Bonaó, Jarabacoa, Constanza y Villa Altagracia). Valles que sirven de drenaje al agua subterránea retenida en los sistemas de fisuramiento de las rocas circundantes y representan una "estación intermedia" en el camino del flujo base de los ríos.

Uno de los fenómenos hidrogeológicos característicos de la cordillera son las **trampas topográficas e hidrogeológicas de los valles interiores**. Las rocas que forman la base de los valles no son acuíferas y sirven de base impermeable a los acuíferos suprayacentes de capas aluviales o coluviales, lo que constituye una ventaja.

Estos valles ofrecen así acuíferos en la montaña, para resolver problemas locales. La gran cantidad de lluvias y las corrientes superficiales permiten una alimentación constante de tales acuíferos, aun si su capacidad de almacenamiento es pequeña.

Las más conocidas son las de los valles de Jarabacoa, Constanza, Bonaó y Villa Altagracia. Pero, existen otros muchos casos similares a escala menor, y de hecho cada río cuyo curso atraviesa un estrangulamiento crea un fenómeno análogo⁷.

La cordillera constituye el **principal contribuyente al flujo base del Yaque del Norte, y sus afluentes de la cuenca alta**, así como al de varios de los ríos principales del país, por su capacidad de retención y conducción del agua en los sistemas de fisuramiento que se han desarrollado en sus capas superiores.

La cantidad de datos disponibles de agua subterránea es ínfima en comparación con las proporciones de la zona, y apenas posibilita algunas conclusiones indicativas, en ciertas áreas.

En grandes extensiones de la cordillera no hay pozos. Solo hay unos 200 pozos en toda la zona, menos de los que existen en el Cibao o la llanura costera oriental. Los pozos comienzan a aparecer y a aumentar a medida que se desciende la cordillera y se aproxima al valle del Cibao en el norte y al valle de San Juan en el sur⁸.

5 **Flujo subterráneo de la Cordillera Central.** En la Cordillera Central hay tres líneas tectónicas principales que tienen significación hidrogeológica: 1) la zona del fallamiento de La Hispaniola; 2) la falla de Bonaó; y 3) la sutura tectónica entre el bloque alto de la Cordillera Central y la Sierra de Yamasá. Y es posible que el cabalgamiento de Hatillo tenga también una significación similar, aunque menos importante.

6 **TAHAL, IV/ 19-20.**

7 **TAHAL, IV/ 6-10 y 16.**

8 **En grandes extensiones de la cordillera no hay pozos.** Así, en las zonas de las hojas del mapa 1:50,000 arroyo Limón, Restauración, Gajo de Monte, Manabao, Jánico, Diferencia, Lamedero y Sabana Queliz. Y dentro de varios mapas hay no más de 1-2 pozos. Las grandes elevaciones, la topografía accidentada, la abundante disponibilidad de agua superficial y la poca densidad de población, explican la poca densidad de pozos.

La mayoría de los pozos activos de la cordillera están concentrados en los cuatro valles aluvionales intramontañosos principales, donde los resultados de las perforaciones han sido muy positivos hasta ahora, sobre todo si se los compara con los numerosos fracasos de otras zonas.

Fuera de estos valles hay algunos pozos dispersos fuera de los valles, en su mayoría con descargas muy pequeñas. Y su salinidad es ínfima, 10-15ppm de cloruros, en general⁹.

VALLE DEL CIBAO

El aprovechamiento actual se estima en unos 15M m³/año, condicionado por la localización precisa y la planificación correcta de los pozos de producción. *El flujo del acuífero aluvial regional del valle se estima en unos 32M m³/año, como máximo, drenando parte al este y parte al oeste, hacia el mar.*

Los principales acuíferos de esta zona están constituidos por abanicos aluviales, concentrados en su mayor a lo largo de la Falla Septentrional, y en los cauces aluviales de los ríos.

La zona principal de aprovechamiento potencial de agua subterránea se ubica en la *franja de abanicos aluviales alejada de los grandes ríos del valle*, en el norte y a mayor altura que ellos. Al pie de algunos abanicos se manifiestan fenómenos acentuados de salinización, lo que debería tomarse en cuenta al planear su aprovechamiento.

A lo largo del valle *numerosos abanicos aluviales y acuíferos locales drenan principalmente hacia los ríos*, y alimentan el flujo base de los mismos. Su aprovechamiento es posible, si bien a expensas del caudal de los ríos.

El potencial de *producción de cada abanico* depende su área de alimentación y de la tasa de recarga específica de cada una. En el caso del abanico aluvial junto a Villa González, se estima que su recarga es de unos 6M m³/año, de los cuales es posible aprovechar unos 4M m³/año¹⁰.

VENTAJAS DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La utilización de agua subterránea **presenta en ciertos casos ventajas claras, que hacen que sea preferible al uso de agua superficial**, o cuando menos que sea aconsejable el uso integrado de ambos recursos. A continuación, algunas de sus ventajas principales:

1. *Abastecimiento de agua potable sin tratamiento*, en general o, a lo sumo, con un tratamiento mucho más simple y económico que el requerido para el agua superficial.
2. El bombeo del agua subterránea *rebaja el nivel freático alto, en zonas afectadas por exceso de humedad y encharcamiento del terreno*. Ello es especialmente importante cuando el agua se destina al riego, ya que el bombeo de agua subterránea alivia el problema, mientras que el riego con agua superficial tiende a agravarlo.
3. *Proximidad a los puntos de consumo*. En zonas alejadas de agua superficial, y con aguas subterráneas aprovechables, su uso puede hacerse ahorrando la construcción de costosas obras de captación y conducción a larga distancia.
4. *Disponibilidad del suministro*. El abastecimiento de agua subterránea se basa en pozos, contrariamente al agua superficial que se basa, generalmente, en obras de gran envergadura. Esta divisibilidad del suministro permite desarrollar el abastecimiento según el incremento de la demanda, sin excedentes de capacidad no aprovechados.

9 Para una descripción de la **Hidrogeología de los cuatro valles intramontañosos**, ver TAHAL IV/ 9-15 y 29-30.

10 **En Villa González**, al NO de Santiago, hay un abanico aluvial grande en la desembocadura del arroyo Arenquillo, en el que se origina una acumulación de agua bastante grande. En él *el agua sube con presión* (filtración inversa) hacia la superficie como consecuencia de la diferencia entre las transmisividades del material aluvial grueso y el fino, alrededor del abanico. **TAHAL, IV- 14-15.**

TAHAL I/ 1.46-47.

5. *Rapidez del suministro.* En una zona en la que existen recursos subterráneos comprobados, la perforación y puesta en servicio de pozos requiere mucho menos tiempo que la construcción de obras de abastecimiento de agua superficial.

6. *Acortamiento del período de gestación de los proyectos,* cuando éstos se basan en el aprovechamiento de agua subterránea.

7. *Costo de inversión bajo* para su aprovechamiento. Cuando existen aguas subterráneas en cantidad suficiente y en condiciones favorables, la inversión requerida suele ser mucho menos que la de un sistema superficial, a igualdad de capacidad.

8. *Ventaja para el arranque de grandes proyectos de desarrollo.* El desarrollo de aguas subterráneas, como etapa inicial de un proyecto de gran envergadura de aguas superficiales, permite superar los problemas iniciales de creación de la infraestructura técnica y organizativa requerida, en vez de tener que enfrentar estos problemas en forma brusca en toda su amplitud.

9. *Capacidad de regulación.* El manejo de los recursos hídricos subterráneos ofrece por lo general una capacidad de regulación mucho mayor que las aguas superficiales y sin necesidad de construir grandes presas. Y en el caso de “uso integrado” de ambos recursos, el almacenamiento subterráneo puede servir de regulador estacionales, o interanual, del sistema conjunto, aumentando el volumen total de agua aprovechable.

10. *Reserva de emergencia.* Los recursos subterráneos pueden ofrecer, en caso de emergencia, una reserva de suministro para hacer frente a situaciones que ocasionen la suspensión temporal del suministro de agua superficial, tales como huracanes, terremotos, y en casos de problemas de escasez de agua por razón de sequías, etc.

Los factores anteriores, *solos o combinados, justifican el considerar la alternativa de suministro de agua subterránea* (siempre que ésta esté disponible) en todos los casos en que se planee la utilización de recursos de agua, sea cual fuere el uso considerado¹¹.

¹¹ TAHAL I/1.11-13 y VII/5.

APÉNDICE 4.13

CALIDAD DE LAS AGUAS EN LA CUENCA DEL RÍO BAO

El primer monitoreo formal de la calidad de las aguas de la cuenca del Bao se realizó en marzo de 1963, en dos estaciones de los ríos Jagua y Bao.

En abril de 1963 se presentó el informe sobre una Red Nacional de Monitoreo de Calidad de Aguas para la República Dominicana. Estudio realizado dentro del proyecto Fortalecimiento del INDRHI en las actividades hidrológicas, gracias a un financiamiento no-reembolsable de la GTZ alemana. Estudio que ubicaba cuatro estaciones en la cuenca del río Bao (Balneario del río Bao, entrada del río Bao al embalse del mismo nombre, canal de interconexión Bao-Tavera y toma de agua del acueducto Cibao Central en el embalse de Bao). Estaciones en las que deberían hacerse mediciones trimestrales de los parámetros de la calidad de las aguas¹.

CUADRO AP 4.13.1
CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS BAO Y JAGUA
ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Río	Fecha Muestra	CE (us/cm)	PH	Ca ⁺² (mg/L)	Mg ⁺² (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Alcalinidad Total (CaCo3mg/L)	CL (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)
Bao	Marzo 93	108.1	7.4	11	3.36	4.6	0.39	54.9	---	< LD	---
Bao	Enero 99	97	7.3	9	3.7	3.6	0.4	35	---	< LD	3.5
Jagua	Marzo 93	118.6	7.3	11	5.52	4.14	0.39	64.05	6.3	1.44	0.18
Jagua	Enero 99	110	7.7	7.6	6.8	3.8	0.4	45	6	2	4.4

A pesar de ello, el segundo monitoreo formal de la calidad de las aguas de la cuenca del río Bao no ocurrió sino hasta enero de 1999. El informe de la GTZ preveía que la implementación total de esta red nacional de monitoreo sería en cinco años, y el INDRHI programó su implementación en la cuenca del Yaque del Norte para el primero año².

Pero, dificultades presupuestarias y de diversa índole, motivaron que la implementación de la Red Nacional de Monitoreo empezara a cuajar realmente en 1999. No fue sino hasta 1997 que se la dotó de una planta física adecuada, y la dotación del equipo de laboratorio se completó en 1998, año en que los apagones y la carencia de una planta eléctrica propia de emergencia

1 Los parámetros de las mediciones de la calidad del agua en las referidas estaciones pueden verse en NATALE, Oscar E., "Red Nacional de Monitoreo de Calidad de Aguas para la República Dominicana", Vol. I, pp. 67-75. Parámetros que responden a la siguiente clasificación: generales, iones principales, otras inorgánicas, materia inorgánica, indicadores microbiológicos, nutrientes y relevantes en embalses, metales y tóxicos –metales pesados y plaguicidas-.

2 Aguas debajo de la cuenca del Bao, en la cuenca baja del Yaque del Norte, se monitorearon 36 estaciones "una vez" en 1997, midiendo siete parámetros generales de nutrientes, así como nueve parámetros de iones principales y análisis bacteriológicos. Y en el período 1993-1997 se midieron también una vez otros cuatro parámetros en nueve estaciones de la cuenca baja del Yaque del Norte.

GARCÍA, Agustina, y otros. Relevamiento de calidad de aguas y rediseño red de monitoreo cuenca Yaque del Norte (km. 137.5 -5.5). INDRHI: ONH, marzo 1988, tablas 4-9.

frustraron la realización de numerosos análisis que necesitaban energía sostenida (tal es el caso de los coliformes totales, conformes fecales, salmonela y DBO5, entre otros). Entretanto, se perdieron algunos recursos humanos, especializados en análisis más sofisticados, que no se lograron sustituir. Y las deficiencias del presupuesto produjeron problemas con el mantenimiento de los equipos *in situ*, y en el laboratorio central.

Hasta 1993 los escasos programas de monitoreo de calidad del agua del **laboratorio de calidad de aguas del INDRHI** se concentraban en determinar su aptitud para el uso agrícola, riego, es decir, su grado de salinidad. Dedicando a ello sus recursos humanos, equipamiento de laboratorio, actividades y presupuesto.

La necesidad de que se avance en el reconocimiento de la calidad de las aguas para asegurar su adecuación para usos múltiples (fuente de agua potable, riego, abrevadero de ganado, pesca de agua dulce, protección de vida acuática, generación de electricidad, uso industrial, minero, navegación y acuicultura) requiere que el INDRHI esté dispuesto a realizar un importante salto tanto cualitativo como cuantitativo en su programa de calidad de agua y en la infraestructura y presupuesto dedicado a ello. Y todo ello en aras de optimizar el uso múltiple de los recursos hídricos. De ahí la importancia del estudio de la GTZ sobre la Red Nacional de Monitoreo de Calidad de Agua de la RD y su asunción por el INDRHI y, en último término, por el Gobierno.

Y se recomendó complementar la red de monitoreo del INDRHI con la integración de otros organismos, con experiencia en ingeniería sanitaria y tecnología y metodología de evaluación de calidad de aguas más sofisticados (tales como la CAASD, CORAASAN, INAPA, INDOTEC y universidades), mediante convenios interinstitucionales³.

A partir de 1988, y dentro del programa “cultura del agua” del INDRHI, el laboratorio de calidad de aguas, en colaboración con otras instituciones del sector, empezó a impartir talleres para formar **vigilantes de la calidad del agua** de los ríos de sus comunidades, como un medio para facilitar la salubridad de las mismas, complementando la labor de la Red Nacional de Monitoreo.

El proyecto fomenta la participación comunitaria a nivel voluntario, en el diseño y ejecución de programas de muestro y análisis básico de la calidad del agua de los pozos, arroyos y ríos de la comunidad, y en la interpretación de los mismos, a fin de reducir la mortalidad y las enfermedades materno-infantil de origen hídrico.

Los parámetros a monitorear son el PH, conductividad, oxígeno disuelto, temperatura, y cloro residual y contenido bacteriológico, entregándoles el equipo necesario para poder llevarlo a cabo.

3 NATALE, Oscar, op, cit., Vol. 1, p. 1.

5. PROYECTO BAO

ÍNDICE

Introducción	182
Origen del proyecto de Bao	185
La presa de Bao	191
El embalse de Bao	200
Otros componentes del proyecto	216
Construcción del proyecto	218
Apéndices	
Ap. 5.1 Origen e Historia del Proyecto de Bao	223
Ap. 5.2 Estudio Hidráulico del Río Bao (Mendar, 1956)	235
Ap. 5.3 El Río Bao y el Proyecto de Tavera (Mendar, 1959)	243
Ap. 5.4 Presa de Jagua vs Presa de Bao (Lahmeyer, 1967)	247
Ap. 5.5 El Río Jagua en los Estudios de la Sogreah (1968)	255
Ap. 5.6 Modificaciones sugeridas por Harza al Proyecto Tavera-Bao de la CDE.	259
Ap. 5.7 Vertedero de Tavera, o Tavera-Bao: Componentes principales	261
Ap. 5.8 Crecida del modelo de huracán y Vertederos de Emergencia	263
Ap. 5.9 Red de Instrumentación en la presa y diques de Bao.	265
Ap. 5.10 Relocalización de la Familias del área del Embalse de Bao	267
Ap. 5.11 Operación óptima el Embalse de Bao (Plan de Operación del embalse)	271

INTRODUCCIÓN

EL PROYECTO BAO

El proyecto Bao está integrado por la presa y el embalse de Bao, y canal que le comunica con el embalse de Tavera, en cuya central hidroeléctrica turbinas sus aguas¹. Se inició su construcción el 10 de mayo de 1978 y se inauguró en febrero de 1984.

Su **finalidad** es aprovechar las aguas del río Bao y sus afluentes optimizando la producción de energía hidroeléctrica, el área regada y el suministro de agua potable, y creando sitios de diversión, caza y pesca. Para todo lo cual es un factor clave el "embalse integrado Tavera-Bao", creado por el canal a cielo abierto que une los embalses de Bao y Tavera, posibilitando el uso conjunto y multiplicador de las aguas del Bao y el Yaque del Norte hasta Tavera.

Está localizado en el río Bao, de donde toma su nombre, el más importante de los afluentes del Yaque del Norte. Está a unos 17km al SO de Santiago, entre las provincias de Santiago y La Vega. Y su presa está localizada a unos 4.5km al NO de la de Tavera².



Fig. 5.1 COMPLEJO TAVERA-BAO

EL PROYECTO BAO

ES PARTE DEL COMPLEJO DE TAVERA

El proyecto Bao **forma parte del complejo de Tavera**. Complejo que fue concebido para el aprovechamiento total de las cuencas de los ríos Yaque del Norte y Bao, con sus afluentes, mediante tres embalses, construidos en tres etapas sucesivas.

- La 1ª Etapa, "Proyecto de Tavera", estuvo constituida por la presa y el embalse de Tavera regulando las aguas del río Yaque del Norte hasta poco antes de su

1 El proyecto Bao no tiene unidades generadoras propias, sino que usa las unidades hidroeléctricas de Tavera, duplicando su producción. Si bien en su construcción se tuvo en cuenta la futura instalación de unidades generadoras propias, si las condiciones hidrológicas lo aconsejan.

2 Localización. El proyecto Bao está ubicado en la parte NO de la RD, en el Valle del Cibao, al pie de la Cordillera Central. La mayor parte del proyecto se haya sobre una meseta. Su presa está situada en la Zanja, cerca del poblado de Sabana Iglesia, provincia de Santiago.

Está localizado a unos 130km al NO de Santo Domingo. A media hora de la carretera Santo Domingo-Santiago, a partir de La Prenda, desde Santiago a unos 45 minutos, y a 25 minutos por Las Charcas.

HARZA-ISF/I-1 y HARZA-ISFA/ B-8

confluencia con el río Bao, y turbinando las mismas en la central hidroeléctrica. Sus obras se iniciaron en 1968, entrando en operación en el año 1973³.

- *La 2ª Etapa*, el “Proyecto de Bao”, comprendió la presa y embalse de Bao, regulando las aguas del río Bao y sus afluentes (Jagua, Guanajuma, Baiguaque, Jánico y Arroyo Gurabo) y la creación del embalse conjunto Tavera-Bao, mediante el canal de interconexión que unió ambos embalses. De ahí que a este proyecto se le llame también Proyecto Tavera-Bao.

Es una “ampliación del proyecto de Tavera”, al que aporta caudales adicionales aumentando la producción de energía hidroeléctrica, el área de riego y el suministro de agua potable. Caudales que, por otra parte, utilizan las estructuras hidroeléctricas y los sistemas existentes en Tavera⁴.

- *La 3ª Etapa*, el “Proyecto López-Angostura”, consta del contraembalse de López, que regula para riego las aguas turbinadas hidroeléctricas en Tavera, al tiempo que las turбина otra vez en la central hidroeléctrica instalada en La Angostura. De ahí el nombre de proyecto López-Angostura Su construcción comenzó en 1980 y entró en operación en 1987⁵.

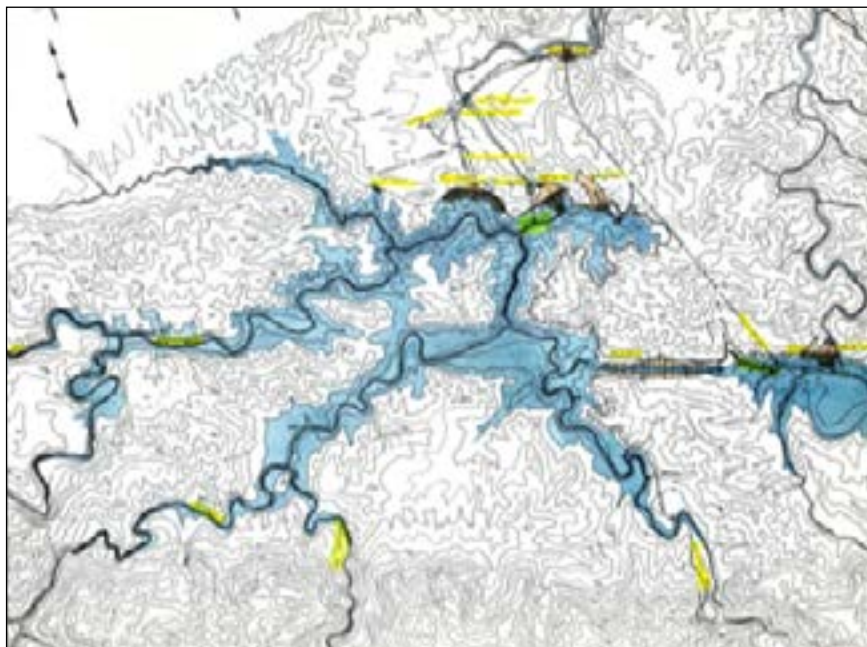


Fig. 5.2 PLANO GENERAL DEL ÁREA DEL PROYECTO

Fuente: HARZA-CDE, Abr. 1976, Lámina 2.

3 **El proyecto de Tavera** siempre se concibió como la 1ª Etapa para el aprovechamiento total de las cuencas del Yaque del Norte y Bao. Su embalse creó un lago de 6.2km² en el río Yaque del Norte. Su presa tiene una altura de 80m. Un túnel de presión de 4.5km de longitud y 6.5m de diámetro, lleva el agua del embalse a la central hidroeléctrica de Tavera, con dos unidades de 40 MW cada una.

4 **Producción de energía eléctrica.** El caudal promedio anual conjunto, del río Yaque Norte y el Bao con sus afluentes, es de 40.06m³/seg de los que son aprovechables sólo 38m³/s. Con ese caudal, y a un nivel de 315m pueden producirse unos 305 M kwh/año, como promedio, producción que ha dado sólo una vez (1989) desde la puesta en marcha del complejo (1984), debido a los bajos niveles de operación del complejo.

Utilizan las estructuras hidroeléctricas y los sistemas existentes en Tavera (central hidroeléctrica, vertedero, túnel de riego, etc), optimizando su rendimiento, el de la central hidroeléctrica principalmente, y abaratando el costo del proyecto.

HARZA-1SF/1-2 HARZA-ISF/ J-2 y CDEI-J/39.

5 **CDE-COM/1.**

ES UN PROYECTO DE FINES MÚLTIPLES

El proyecto de Bao, al igual que el complejo Tavera es un proyecto de fines múltiples. Satisface cinco tipos de demandas principales, aprovechando el agua de la cuenca histórica del río Bao, con sus afluentes, para⁶:

- 1) *riego* de los cultivos aguas abajo de Santiago, en la parte oriental del Valle del Yaque Norte.
- 2) *agua potable e industrial* para Santiago, Moca y poblaciones vecinas (acueducto Cibao Central).
- 3) *caudal ecológico*, para preservar el cauce, aguas abajo de los embalses, en forma continua.
- 4) *energía hidroeléctrica*.
- 5) *regulador de crecientes* para ambas cuencas y de las aguas a utilizarse en los diferentes usos del proyecto⁷.

El **objetivo principal** inicialmente fue “regular y ampliar el abastecimiento de agua para el sistema de riego aguas abajo de Santiago”.

Pero el estudio de Lahmeyer (1967) llegó a la conclusión de que era más rentable *la producción de energía eléctrica*, aprovechando la altura de la caída de la presa, que suministrar el agua a la zona de riego, y según esta concepción se construyó la presa de Tavera y su central eléctrica. Si bien ambas prioridades se procuraban conciliar⁸.

El estudio de la CDE (1972) volvió a darle la prioridad máxima al riego, procurando compatibilizarlo con la producción de energía hidroeléctrica, eléctrica y el suministro de agua a la ciudad de Santiago.

En la práctica, la operación del embalse Tavera-Bao, la adjudicación de sus aguas para los distintos usos, se realiza procurando “satisfacer al máximo y al mismo tiempo la demanda de agua para riego y para energía eléctrica”. Y en los momentos de crisis se asigna según el manual de operación del embalse y las indicaciones del Gobierno. La toma de agua del acueducto de Santiago tiene una operación independiente, con cierta coordinación⁹.

6 **Cuenca histórica del río Bao, con sus afluentes.** Afluentes que desembocan directamente en el embalse, desde que se creó éste.

7 **Otras demandas:** calidad del agua, usos turísticos, etc.

Los embalses de propósitos múltiples *son conflictivos para su operación, en tiempo de escasez de agua*, pues deben satisfacer más de una demanda de agua y no todas son coordinables, no todas pueden satisfacerse secuencialmente, sino que tienen su propio horario/calendario. Y algunas son de uso consuntivo, como el riego o el agua potable, impidiendo su uso posterior, sobre todo en tiempo de sequía.

Demandas “totales” y “variables”. Las tres primeras demandas se llaman demanda total (riego + acueducto + requerimientos ecológicos). Necesitan suministro de agua en forma “continua, o casi continua”, debido al tipo de necesidad específica y el largo recorrido que tiene que hacer el agua para llegar al usuario.

Mientras que la demanda hidroeléctrica es “variable”, puede ser en forma “continua” (energía base), o según su mayor demanda a ciertas horas (energía pico) **CDE-COM/ 1**.

8 **CDE-IJ/39.**

9 **El manual de operaciones** tiene un cálculo computarizado procurando compatibilizar, dentro de lo posible, las prioridades asignadas al mismo, a distintos niveles de la crisis del agua en el embalse.

El Comité de Presas es el encargado de administrar el uso de las aguas disponibles en el embalse en cada situación. Se reúne *semanalmente* y está integrado por el INDRHI, la Empresa Generadora de Hidroelectricidad (EGEHID), la Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET), representantes de las Corporaciones de Acueductos que se abastecen de las presas; actualmente el Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillado (INAPA), CAASD, CORAASAN y CORAAMOCA. Cuando se activa una situación de alerta o emergencia, ya sea por algún evento de origen hidro-meteorológico, sísmico, o de otra naturaleza, se integran además La Defensa Civil (DC) y la Secretaría de Estado de Obras Públicas (SEOPC). Rigiéndose por su reglamento.

ORIGEN DEL PROYECTO DE BAO¹⁰

ESTUDIOS DE MENDAR

En 1954 el Gobierno dominicano deseando potenciar los recursos hidroeléctricos que el país necesitaba para su desarrollo, encargó a la firma dominico-española Mendoza y Armenteros (Mendar) un **estudio hidráulico del río Yaque del Norte y sus afluentes Mao, Bao y Jimenoa** para determinar las posibilidades de su aprovechamiento hidroeléctrico y de riego, e identificar los sitios para embalses y saltos hidroeléctricos, así como las obras necesarias para ello.

Los *sitios de embalse identificados* en la cuenca del Bao fueron el Alto Bao, Sabaneta, Jánico, Bao y Jagua. Y “relacionados con la cuenca del Bao”, para su mejor aprovechamiento, los de Manabao, Tavera y Angostura. Sitios cuyo estudio debería profundizarse en etapas posteriores. E indicó que, dadas las características topográficas e hidrológicas del río Bao y sus afluentes *su aprovechamiento sería principalmente hidroeléctrico*¹¹.

Mendar recomendó Tavera como el principal sitio de presa para regular los caudales del Yaque del Norte. Y en su **“Proyecto Definitivo del Aprovechamiento Múltiple del río Yaque del Norte, Sitio de Tavera”**,

- Presentó cuatro *alternativas para el aprovechamiento hidroeléctrico de las aguas del embalse de Tavera*.
- *Recomendó la que implicaba al río Bao (Alternativa 4ª)*, con la central hidroeléctrica del embalse de Tavera en la margen derecha del río Bao, cerca del arroyo Flaire.

Aprovechaba la diferencia de altura entre Tavera y el río Bao, consiguiendo una caída neta de 92m (vs 33m de la alternativa mejor), produciendo unos 219 M Kwh. anuales, con un caudal de 90m³/s.

- *La central hidroeléctrica de Tavera, en el arroyo Flaire, podría turbinar las aguas río Bao y sus afluentes, en el futuro, mediante obras.*
- *Proponía la construcción de otra presa aguas abajo de la confluencia de los ríos Jagua-Guanajuma, y un azud de desvío sobre el río Bao, para incluir a los tributarios, a través de un sistema de túneles. El caudal del río Bao se conduciría también a través de un túnel al Jagua-Guanajuma. Y otro túnel desembocaría en el túnel principal de Tavera, uniendo ambos sistemas*¹².
- *La construcción simultánea de un embalse en el río Bao, con trasvase al de Tavera, y un túnel desde el embalse de Bao hasta el río Yaque del Norte, cerca de Angostura, optimizaría la central hidroeléctrica de Tavera, previéndose un contraembalse*¹³.
- Pero dado que *los términos de referencia no permitían estudiar la Alternativa 4ª (aprovechamiento general de Tavera-Bao)*, Mendar
 - se concentró en la Alternativa 1ª, que parecía la mejor si se prescindía de las aguas del río Bao.
 - y recomendó hacer un estudio comparativo de la Alternativa 4ª antes de emprender la construcción del aprovechamiento según la Alternativa 1ª¹⁴.

¹⁰ Para más información de este tema ver el Ap. 5.1 Origen del Proyecto Bao.

¹¹ MENDAR-ehm/1.8.

¹² **Llevar las aguas del río Bao al embalse de Tavera**, para su utilización en la central al pie de la presa (solución 1ª), era posible pero *no compensaba económica y energéticamente*.

¹³ LAHMEYER-ta / F – 3.

¹⁴ **Mendar: 1ª Alternativa para Tavera (1959)**. Presa de hormigón tipo de contrafuertes. Central hidroeléctrica para energía pico, a la intemperie, cerca de la presa (43 Mw), y una producción media anual de unos 95.5 Gwh. Mejoraría los caudales durante los meses de sequía y preveía un contraembalse. **MENDAR-tam / 3C5-6**.

Para más información de este tema ver el Ap. 5.2 Estudio Hidráulico del río Bao (Mendar, 1956).



Fig. 5.3 SISTEMA PROPUESTO POR MENDAR (1957)
(CON CONTRAEMBALSE)

LOS ESTUDIOS DE LA VATTENBYGGNADSBYRÅN (VBB)

La firma sueca Vattenbyggnadsbyrå (VBB)¹⁵, (1961-1963), **se decidió por la “Solución 4ª” de Mendar**, pero propuso que

- la *central hidroeléctrica fuera para energía base, y no pico, al menos en una 1ª Etapa*, ya que el aprovechamiento del río Yaqué Norte se destinaba prioritariamente para riego. Por lo que “no consideraba la construcción de un contraembalse”.
- *Sería de 28Mw de capacidad, en base a los caudales de un año normal, produciendo unos 146Gwh anuales. La casa de máquinas estaría instalada en una planta de caverna, cerca de la presa de Tavera, sobre la margen izquierda del río Yaqué del Norte. Y estaría conectada con el río Bao, cerca del arroyo Flaire por un túnel de unos 4,200m de longitud*¹⁶.

Y respecto a futuras ampliaciones del sistema, incluyendo el aprovechamiento de los ríos tributarios, la VBB presentaba dos posibilidades:

- *Presa aguas abajo de la confluencia de los ríos Jagua y Guanajuma, “conectando su embalse con el de Tavera”, por un túnel de unos 2,000m, y con una “galería de traslado del río Bao al río Jagua”.*
- *Enlace, por túneles, de los tres ríos tributarios (Bao, Jagua y Guanajuma) con el río Yaqué Norte. Túneles que tendrían una extensión total de 10km.*

*En las dos alternativas una única central hidroeléctrica de caverna tendría todos los equipos eléctricos y mecánicos*¹⁷.

¹⁵ VATTENBYGGNADSBYRÅN (VBB) – **Memoria sobre el aprovechamiento múltiple del río Yaqué del Norte, sitio de Tavera. 1961.**

VATTENBYGGNADSBYRÅN (VBB) – **Aprovechamiento de la energía hidroeléctrica. 1963.**

¹⁶ **Planta de caverna** ya que no había suficiente espacio para una planta a la intemperie sobre la margen del río Bao. LAHMEYER-ta / F – 7.

¹⁷ LAHMEYER-ta / F – 4.



Fig. 5.4 SISTEMA PROPUESTO POR VATTENBYGGNADSBYRÅN (1961-1963)
(SIN CONTRAEMBALSE)

LOS ESTUDIOS DE LAHMEYER Y EL “COMPLEJO DE TAVERA” (TAVERA - JAGUA/BAO - LÓPEZ)

El complejo de Tavera fue concebido para el aprovechamiento total de la cuenca alta del río Yaqué del Norte y de sus afluentes los ríos Bao, Jagua y Guanajuma, en varias etapas. Y la secuencia de construcción recomendada por Lahmeyer fue la siguiente:

- 1ª Etapa: *Proyecto de Tavera*, con dos unidades de 40 Mw c/u (80 Mw total).
- 2ª Etapa: *Contraembalse de López*, con una unidad de 7/8.7 Mw, y
- 3ª Etapa: *Presa Jagua/Bao* con dos unidades de 25.5/27.5 Mw c/u (51/55 Mw)¹⁸.

El proyecto de Tavera (1ª Etapa) reguló las aguas de la cuenca del Yaqué del Norte, *antes de su confluencia con el río Bao*.

Y se diseñó para usar las aguas reguladas fundamentalmente en *riego*, *afectando la producción anual de energía hidroeléctrica*, que se reduciría en un 54% de ampliarse el área de riego a 40,000ha, haciendo que la operación de la central hidroeléctrica de Tavera no fuera rentable, en base únicamente a su embalse¹⁹.

Por ello se propuso la construcción del **contraembalse de López como 2ª Etapa**, aguas abajo de Tavera, para *regular para riego las aguas turbinadas*, *mejorando la producción hidroeléctrica*, al operar su central hidroeléctrica con mayor libertad y cantidad de agua.

Y Lahmeyer recomendó construir una presa sobre el río Bao en lugar de la presa sobre el río Jagua, *a unos 700m aguas abajo de la confluencia de ambos ríos*, reuniendo el agua de todos los tributarios “sin tener que hacer túneles entre los ríos Bao y Jagua”. Y que la descarga de las aguas del embalse de Bao sea a su propia central hidroeléctrica, a través de un túnel individual, como la alterativa más económica.

Recomendaciones que se suponen aceptadas en *el Estudio de Factibilidad de Tavera*.

¹⁸ CDE I-H/22.

¹⁹ CDEI-H/2.

EL ESTUDIO DE LAHMEYER: JAGUA Y BAO.

Lahmeyer hizo un **estudio comparativo de las presas de Jagua y Bao**. Consideró diez alternativas, de las cuales dos fueron seleccionadas como las más interesantes²⁰:

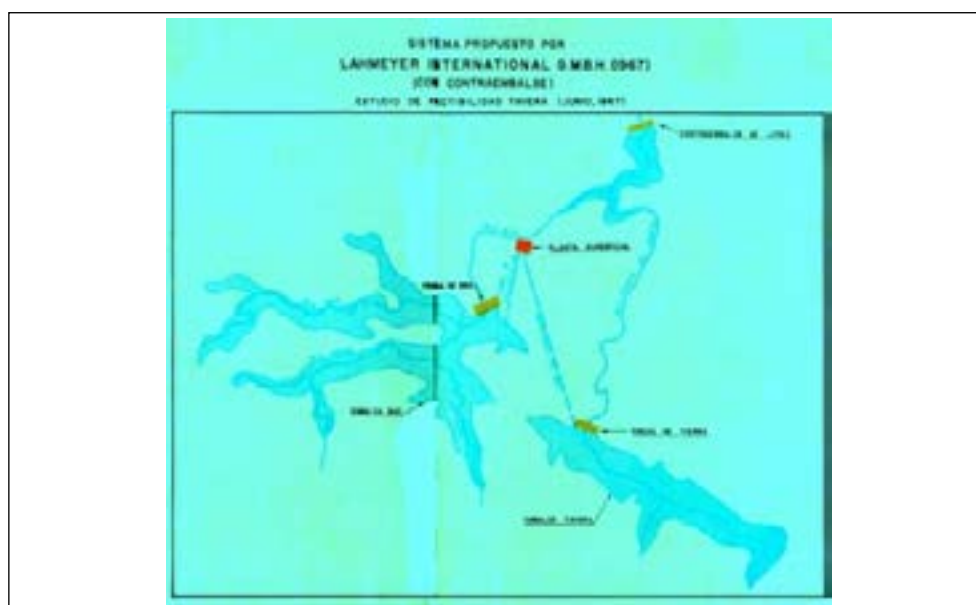
- 1) *Presa en el río Bao*, con túnel de conducción a una nueva planta hidroeléctrica, contigua a la de Tavera. El nivel máximo del embalse sería en la cota 325m (Alternativa B21).
- 2) *Presa en el río Jagua*, también con túnel de conducción a una planta hidroeléctrica, a instalarse contigua a la de Tavera. El nivel máximo del embalse estaría en la cota 335m snm. Y el río Bao sería conducido al embalse de Jagua, mediante una presa en el Bao y un túnel de conducción (Alternativa J21)²¹.

Y recomendó construir la presa de Jagua:

- *una presa de tierra en el río Jagua*, de 88m de altura, con un costo de RD\$9.1 M menos que la de Bao, si bien ésta presentaba un beneficio/costo superior²².
- *una presa adicional de derivación en el río Bao*, para incorporar sus aguas al embalse de Jagua, por un túnel. Y desde aquí enviar el agua del Jagua y del Bao a dos turbinas instaladas en una central hidroeléctrica, contigua a la de Tavera, por un túnel de 3.2km de longitud.

Las unidades hidroeléctricas de Tavera y Jagua/Bao (135 Mw) serían para energía pico.

- Y el *contraembalse de López* para regular los caudales turbinados por ambas unidades hidroeléctricas, según las necesidades de riego del distrito agrícola del proyecto²³.



**Fig. 5.5 SISTEMA PROPUESTO POR LAHMEYER (CON CONTRAEMBALSE)
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TAVERA (JUN. 1967)**

20 LAHMEYER. **Proyecto múltiple Río Jagua/Río Bao: Estudio de Pre-inversion**. INDRHI. Frankfurt/ Main (Alemania), Dic 1967.

21 CDEI-H/4.

22 **Presa de Jagua**, con un total de RD\$9.1 M menos que la de Bao: Jagua RD\$27.97 M vs Bao RD\$37.04 M. Con los datos actualizados, la diferencia de RD\$3.5 M (1972) no justificaba descartar la presa en el río Bao, una solución técnica y económica mucho más favorable según el estudio de factibilidad de la CDE CDE I-H/5 y Anexo H-3.

23 CDE I-J/I.



**Fig. 5.6 SISTEMA PROPUESTO POR LAHMEYER (CON CONTRAEMBALSE)
ESTUDIO DE PRE-INVERSIÓN JAGUA-BAO**

LA NUEVA CONCEPCIÓN DEL PROYECTO BAO DE LA CDE

La CDE, al ser designada administradora de la construcción del proyecto Tavera, preparó un **Estudio de Factibilidad Tavera-Bao (1972)**, a fin de determinar la solución más favorable técnica y económicamente *para la 2a Etapa del Complejo de Tavera* en ese momento, a la luz de nuevas ideas sobre el mismo²⁴.

Y propuso **una nueva concepción**, no mencionada en ninguno de los informes anteriores, basada en:

- una presa en el río Bao, con sus estructuras auxiliares.
- y un canal de interconexión entre los embalses de Tavera y de Bao.

Lo que permitía

- formar un gran embalse, de 450Mm^3 de capacidad y un caudal regulado de unos $38.00\text{m}^3/\text{s}$, aumentando casi en un 100% los caudales del embalse de Tavera²⁵.
- garantizar el riego de la zona total del proyecto (40,000 ha), sin necesidad de un contraembalse.
- triplicar la producción hidroeléctrica anual, al disponer de un mayor caudal de agua, lo que permitiría operar las unidades hidroeléctricas existentes (80 MW) con un 90% de eficiencia.
- no impedir la instalación de nuevas unidades hidroeléctricas en el futuro, si se desea aumentar la producción eléctrica pico²⁶.

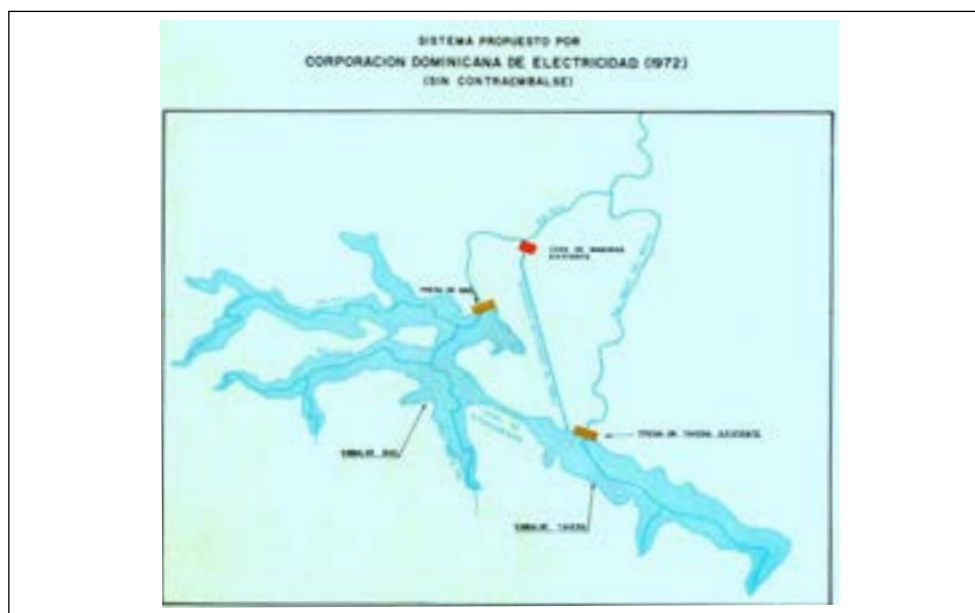
24 Ver CDEI-H.

25 **El propósito principal del proyecto de Bao** era encauzar las aguas del río Bao a través del canal de interconexión hacia el embalse de Tavera, para *crear un gran embalse que optimizase el potencial hidráulico de ambas cuencas*. Y así aumentar la producción hidroeléctrica de la central de Tavera y otros servicios del embalse.

26 No impide la instalación de nuevas unidades hidroeléctricas en el futuro. La presa de Bao está provista de una “toma de energía” adicional que permite la instalación de una central hidroeléctrica con una capacidad instalada de 100 Mw, en el futuro, para ser utilizada en horas de máxima demanda. **CDE-COM/ 1.**

- *utilizar todas las estructuras hidráulicas e hidroeléctricas de Tavera* (vertedero, túnel de riego, unidades generadoras y sistema completo de la central hidroeléctrica) sin inversión adicional, lo que suponía una economía importante al construirlo y operarlo.
- *regular completa y definitivamente los recursos hidráulicos aguas arriba* de las presas de Tavera y Bao.
- *asegurar agua abundante para el acueducto de Santiago y sus alrededores*, siendo la solución definitiva para los mismos. Por lo que se recomendó que, al construir el proyecto de Bao, se instalase ya una bocatoma y la tubería inicial para conectarla en un futuro próximo con dicho acueducto²⁷.
- *y facilitar conseguir el financianúento para el distrito de riego del Yaque del Norte*, al garantizar el caudal de agua requerido por el BIRF para concederlo. Lo que añadía un motivo de urgencia más a la construcción del proyecto de Bao.
- Por otra parte, los servicios y economías prestados por el *contraembalse de López*, según el estudio de factibilidad de Lahmeyer, se cumplían mejor con la nueva concepción de1 proyecto de Bao de la CDE²⁸.

El proyecto Bao de la CDE fue el que se realizó, con diseño final de Harza.



27 CDE I-A/ 6-8.

EL DISEÑO FINAL DE HARZA

Dos años después la CDE, administradora del proyecto del complejo de Tavera, para complementar su propio “Informe de Factibilidad del Proyecto Tavera-Bao” (1972) contrató a la firma Harza para servicios de ingeniería de consultoría, en dos etapas:

- En 1974 le encargó un *Informe de Factibilidad Complementario del Proyecto Bao*, una revisión técnica del Informe de Factibilidad de la CDE (1972) y de otros estudios anteriores.
- Y en 1977 le pidió *el diseño final y supervisión de la construcción* del proyecto Tavera-Bao.

Como consecuencia de ello Harza hizo diversos *estudios suplementarios de campo* (hidrológicos, geológicos, hidráulicos, estructurales y costos de construcción) que parecieron necesarios para el diseño definitivo del proyecto.

Los resultados de la revisión y diseño final de Harza

- confirmaron que el proyecto Tavera-Bao desarrollado por la CDE (1972) era de buena categoría y factible, en su conjunto. La disposición general del proyecto Tavera-Bao recomendada por Harza era esencialmente la propuesta por la CDE.
- La modificación principal efectuada fue la relocalización del tapón erodible No. 2 del dique mayor a una ubicación adyacente al tapón erodible No. 1, y su rediseño, a fin de evitar una erosión descontrolada en la ubicación de dicho tapón erodible.
- La mayoría de las modificaciones recomendadas eran cambios menores en los detalles del diseño del proyecto²⁹.

LA PRESA DE BAO

INTRODUCCIÓN

La presa de Bao está ubicada en el cauce del **río Bao**, a unos 600m (700m) aguas abajo de su confluencia con el río Jagua, y aguas arriba de su confluencia con el Yaque del Norte. Está a 1km al sur del pueblo de Sabana Iglesia y a unos 4.5km al NO de la presa de Tavera³⁰.

En este sitio la presa cierra **el paso al río Bao en un cañón angosto** de paredes empinadas, cortado por el mismo río Bao, formando un gran embalse con las aguas de dicho río. El cañón es de unos 450m de longitud y unos 20m de ancho en el sitio de la presa, terminando a unos 350m aguas abajo de la misma³¹.

Y a partir de ahí el río Bao corre a través de un amplio valle de sedimentos recientes y de antiguos depósitos de terraza, en tres niveles diferenciados³².

29 **Las modificaciones principales** de diseño dictadas por la revisión de Harza y por las condiciones de campo pueden verse en el Ap. 5.6 *Modificaciones sugeridas por Harza al Proyecto Tavera-Bao de la CDE*.

30 **El Jagua** corre, antes de la confluencia, a través de un cañón de 1km de longitud, desde la confluencia de los ríos Jagua y Guanajuma a su confluencia con el Bao. Otro sitio de presa, al cual se hace referencia con la denominación de sitio de la presa del río Jagua, por diversos estudios, se halla en el cañón del río Jagua.

31 La presa está situada en un **cañón angosto** que corta una larga cadena de colinas rocosas, con elevaciones entre 350-450m en las cercanías de la presa, mientras que el río Bao y sus afluentes fluyen a unos 230m snm. En este punto, el valle tiene un perfil asimétrico en forma de V, con un cañón interior casi vertical de unos 20m de altura, haciendo el río Bao un viraje de 90°.

CDE-COM/3.

32 **Amplio valle** de sedimentos recientes y de antiguos depósitos de terraza, en tres niveles diferenciados (360m, 300m y 260m).

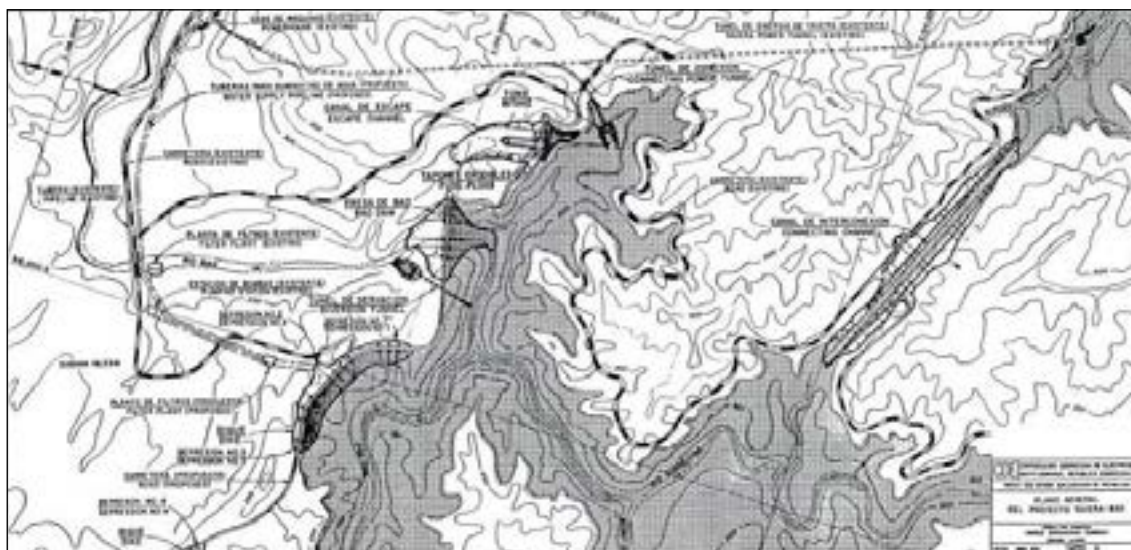


Fig. 5.8 PLANO GENERAL DEL PROYECTO TAVERA-BAO

La presa consta de una *presa principal* y *dos diques auxiliares* que cubren cuatro depresiones.

Las *obras de descarga*, propias y compartidas con Tavera, como el vertedero, los vertederos de emergencia, túnel de generación, túnel de tiego y túnel de desvío.

Y de *otros componentes* como diques auxiliares y canal de interconexión.



Fig. 5.9 FOTO AÉREA OBLICUA DEL SITIO DE LA PRESA CON LA PRESA SUPERPUESTA
FOTO TOMADA AGUAS ARRIBA

LA PRESA PRINCIPAL

La presa principal es **una presa de tierra y enrocamiento**. Las condiciones topográficas y geológicas del sitio permitían la construcción de una presa de hormigón o de tierra. Y se optó por la presa de tierra, con un núcleo vertical de impermeabilización, similar a la de Tavera, siguiendo la recomendación de los geólogos, por ser mucho *más económica y ofrecer mayor seguridad sísmica* que la de hormigón³³.

Tiene una **altura de 110m** desde el cauce del río hasta la cresta de la misma en la cota 334.90m, y la longitud de la corona es de 42m.

Su construcción *requirió* 347,000m³ de excavación y la utilizaron 2.8Mm³ de diferentes tipos de materiales, en su mayor parte procedentes de las excavaciones que hubo que hacer para otras partes del proyecto³⁴.

CUADRO 5.1
LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA PRINCIPAL DE BAO REQUIRIÓ³⁵

347,031m ³	de excavación
437,379m ³	de relleno impermeable
2,380,152m ³	de relleno granular en los espaldones
4,412m ³	de concreto en su fundación.
219Tm	de cemento, para impermeabilización de la fundación de la presa a todo lo largo de su eje.

33 **Presa de tierra: Informe de los geólogos.** En el área de la presa *predomina el conglomerado*, con cañones de paredes muy empinadas cortadas por el río, y *no se prevén deslizamientos de tierra, o escapes de agua del embalse*, dado el carácter impermeable de la masa rocosa.

Las fallas parecen ser apretadas y relativamente impermeables, con muy pocas fracturas. No se excluyó alguna filtración a lo largo de las fracturas y las fallas, y por eso se recomendó una *pantalla de inyección, hasta 20-50m de profundidad*, por debajo del núcleo impermeable de la presa. **HARZA-ISF/ TI-2 HARZA-ISFA/ BI-2, 6, 22 CDEI-J/27.**

Fallas en el área del proyecto. El proyecto está situado en el límite sur del graben del Valle del Cibao. *Dos fallas regionales limítrofes atraviesan el proyecto:* la “falla de Tavera”, que pasa por el canal de interconexión, y una “zona de falla a 0.25-0.5km al N. de la presa de Bao”. No presentan señales de actividad reciente y en los lugares en que las fallas tienen una expresión topográfica prominente (p. ej. cerca de la presa de Tavera y al norte de la presa de Bao), eso se debe a que el flysch es más desgastable que el conglomerado adyacente. Y aunque existe la posibilidad de que baya ocurrido algún deslizamiento horizontal, no se ha descubierto hasta la fecha ningún indicio de que se haya registrado ese desplazamiento.

La falla de Tavera, que pasa exactamente al sur de la presa de Tavera y por el canal de interconexión, es considerada por algunos como una falla límite del Valle del Cibao. Otros prefieren ver el contacto terciario mesozoico al sur del proyecto de Bao como límite sur del Valle del Cibao

Hay *muchas pequeñas fallas locales en el área del proyecto*. Están particularmente bien expuestas en el conglomerado del cañón que está debajo del sitio de la presa de Bao y en los cortes de carretera abiertos en el flysch en el lado oeste del canal de comunicación. Generalmente se empujan más de 60°, pero en ocasiones son más planas. La mayoría de los pequeños arroyos que hay en el área del proyecto probablemente están relacionados con alguna de estas fallas. **CDE 111/15 y 21-24.**

34 **El volumen de relleno de la presa Bao ascendió a 2.8Mm³**, de los cuales 1) *1.8Mm³ de material de enrocamiento* obtenido de las excavaciones del canal de escape, zanja del núcleo y del túnel de derivación. 2) *0.7M mS de material de impermeabilizarían* para el núcleo, de las áreas de préstamo, localizadas a 0.6-1.0km del sitio, de la presa 3) *0.3M m³ para la zona de transición*, de las excavaciones para el canal de escape y para la fundación de la presa.

No se usaron los materiales excavados en el canal de interconexión, como se pensó en un principio, aunque algunos eran apropiados para la presa. Y esto debido a 1) la larga distancia de acarreo (5 a 7km), 2) los caminos tenían pendientes excesivas, y 3) su uso obligaba a simultanear la excavación del canal de interconexión y la construcción de la presa para evitar operaciones costosas de apilamiento.

De hecho la construcción de la presa fue más económica y funcional usando los materiales excavados en otras partes del proyecto y de las áreas de préstamo cercanas. **HARZA-ISF/ II-4. CDE-COM/ 3.**

35 **CDE-COM/ I-II-1.**

CUADRO 5.2
COSTOS DE LA PRESA DE BAO, DE TIERRA Y DE HORMIGÓN
SEGÚN EL ESTUDIO DE LA CDE (1972)³⁶

	Presa de tierra	Presa de hormigón
Volumen	2,513,000m ³	350,000m ³
Precio unitario promedio	\$1.67/m ³ ³⁷	\$50.00/m ³
Precio total	\$4,196,700	\$17,500,000

DIQUES AUXILIARES

El embalse de Bao represa las aguas detrás de una loma de roca. Loma cuyo horizonte tenía **cuatro depresiones topográficas por debajo del nivel máximo de agua deseado para el embalse de Bao (327.5m)**. (Ver Fig. 5.9A)

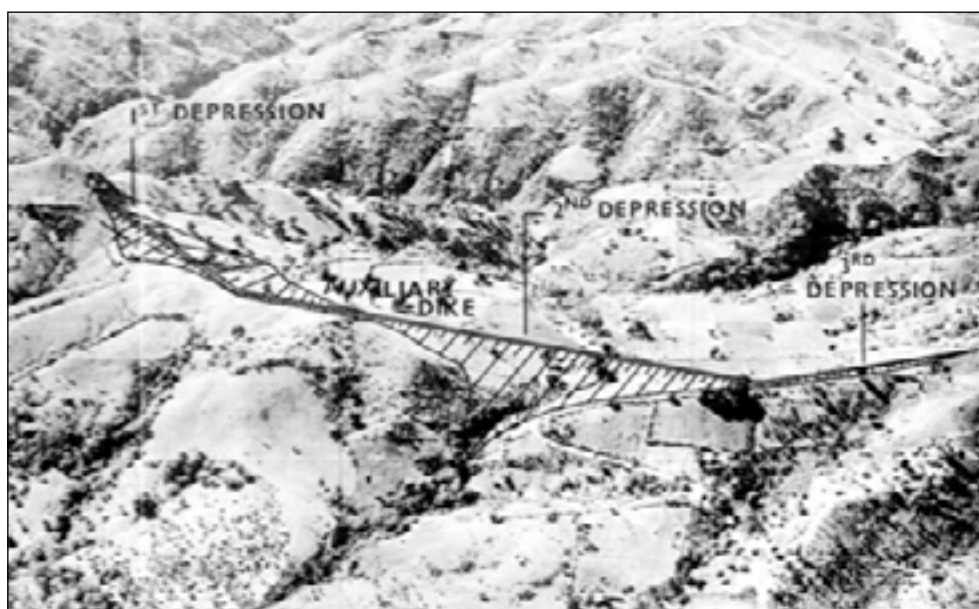


Fig. 5.9A DETALLE DE DIQUES AUXILIARES

Por ello se construyeron **dos diques auxiliares**, o presas laterales, de *casi 1km de longitud, con sus crestas en la cota 332.5m/snm*, para rellenar las cuatro depresiones ubicadas en la loma de la parte izquierda de la presa, y poder levantar el nivel del agua del embalse hasta la cota 327.50m snm. La altura de los diques varía de acuerdo a las profundidades de las depresiones, oscilando entre 30 y 3m de altura.

El dique mayor cubre tres depresiones (la 1, 2 y 3), tiene una longitud de cresta de unos 825m y una altura máxima de 3m. Y el dique menor cubre la depresión 4, tiene una longitud de 70m de cresta y una altura máxima de 15m. La depresión más baja requirió un dique de 3m de alto y un relleno de 0.5 Mm³. En la construcción de los diques se utilizaron 1.5Mm³ de materiales. Y están *construidos en forma similar a la presa principal*, de tierra y enrocamiento, con una sección transversal zonificada, y una cresta de 5m de ancho, y a la fundación de los diques se les aplicó inyecciones con endechado para evitar infiltraciones³⁸.

³⁶ CDEI-J/24.

³⁷ **Presa de tierra.** En el precio promedio de \$1.67/m³ se consideraba la utilización del material excavado del canal de interconexión.

³⁸ **HARZA-ISF/2 HARZA-ISFA/ B 47-48.**

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

Son diques permanentes “sin tapones erodibles”, como había propuesto el estudio de la CDE. En el fondo de la depresión No. 2 el estudio de la CDE recomendó las tuberías de la *bocatoma de agua para el acueducto de Santiago*³⁹.

CUADRO 5.3
CARACTERÍSTICAS DE LAS DEPRESIONES DEL EMBALSE DE BAO⁴⁰

Alturas	Depresiones			
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
Altura máxima del fondo natural (cota)	316.50	290.00	332.00	329.00
Altura de la cresta del dique (cota)	332.50	332.50	332.50	332.50
Altura máxima del dique (m)	16.00	42.50	10.50	3.50

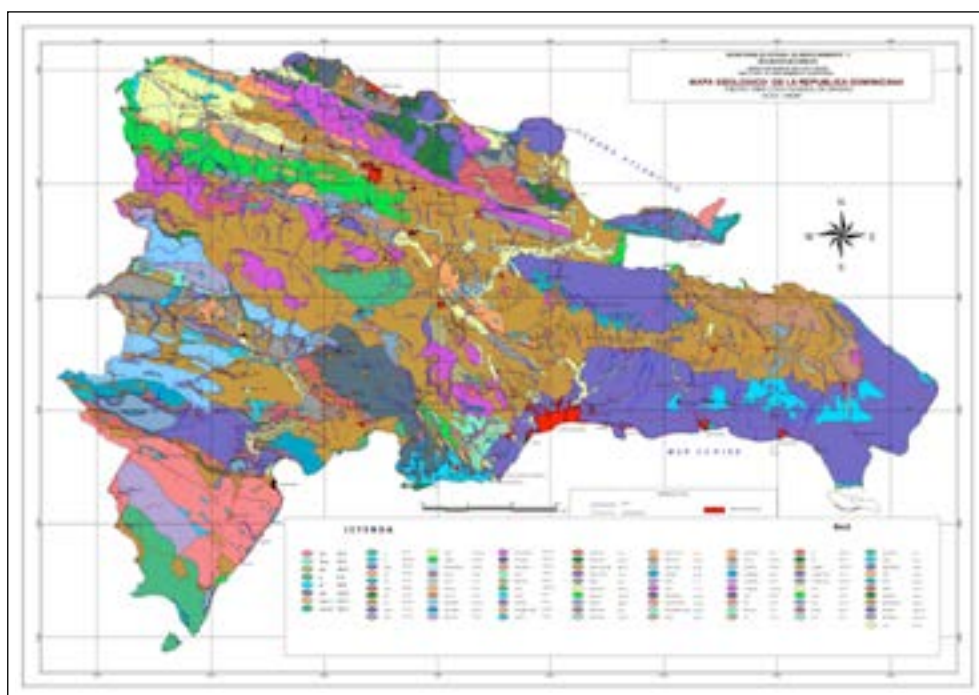


Fig. 5.10 MAPA GEOLÓGICO DE LA REPÚBLICA DOMINICANA

VERTEDERO DE TAVERA O TAVERA-BAO

El vertedero de Tavera, o Tavera-Bao, es un **vertedero compartido**. El embalse de Bao *no tiene vertedero “propio”*, no fue necesario construirlo porque el exceso de sus aguas podían ser descargadas por el vertedero de Tavera, con la consiguiente economía de dinero⁴¹.

Lo mismo ocurrió con otros componentes o estructuras de la presa de Tavera, que son usadas, compartidas por la presa de Bao, como hemos indicado.

39 Bocatoma para el acueducto de Santiago. Ver CDE I-G para una descripción detallada.

40 CDE I-J/32.

41 **Vertedero de Tavera o de Tavera-Bao.** Se llama **vertedero de Tavera** porque se construyó en Tavera para descargar las aguas del embalse del mismo nombre. Y desde la construcción de la presa de Bao y su conexión con el embalse de Tavera, por el canal de interconexión, se le puede llamar con toda propiedad *vertedero de Tavera-Bao* porque controla y desagua las avenidas que ingresan tanto al embalse de Tavera como al de Bao.

El vertedero de la presa de Tavera es la obra principal para controlar y desaguar las avenidas que ingresan tanto al embalse de Tavera como el embalse de Bao. Puede manejar *crecidas con pico de $6,900\text{m}^3/\text{s}$* ⁴².

Se *ubica* a la izquierda de la presa de Tavera, recibiendo las aguas del embalse a través de un canal de llegada. El vertedero consta de *seis compuertas radiales* (9.20m de ancho x 12m de altura) para controlar las avenidas, teniendo además *dos compuertas plegables* (3.50 x 7.50m) para desaguar caudales menores. Y está conectado con el río Bao, aguas abajo de la presa, mediante un canal de descarga que en su parte inferior tiene un trampolín. Toda esta estructura es de hormigón⁴³.

CUADRO 5.4
OBRAS DE DESCARGA DE LA PRESA DE BAO

*Vertedero de Tavera	Cauce de avenidas (vertedero de emergencia)
Canal de llegada	*Túnel de generación
Vertedero de cimacio	*Túnel de riego
Compuertas radiales	*Túnel de desvío de Tavera
Compuertas plegables	Túnel de desvío de Bao
Canal de descarga	

* Componentes “compartidos con Tavera”, para quien fueron construidas.

VERTEDERO DE EMERGENCIA (cauce de avenidas)

Su objetivo es **ayudar al vertedero de Tavera a manejar la entrada al embalse integrado de Tavera-Bao de crecientes extremas**, cuyo intervalo de repetición es muy poco frecuente. El vertedero de *Tavera puede atender a crecidas con pico de $6,900\text{m}^3/\text{s}$* , pero las presas de Tavera y Bao están expuestas a crecidas mayores, en cuyo caso habría que darles salida por medio de vertederos adicionales.

El vertedero de emergencia de Bao se diseñó para ayudar a manejar una avenida combinada de $13,300\text{m}^3/\text{s}$, procedente de los dos embalses, que es la creciente de diseño del proyecto⁴⁴.

El nivel máximo en *el embalse de Tavera no debe exceder la cota 331.0m*, debido a que las compuertas de su vertedero no pueden sobre elevarse. Y se prevé que *el dique fusible sea sobrepasado cuando entre al embalse integrado de Tavera-Bao un flujo combinado de $8,200\text{m}^3/\text{s}$* , que se puede dar cada 450 años⁴⁵.

Su descarga máxima es de $800\text{m}^3/\text{s}$, con una *descarga total de $5,500\text{m}^3/\text{s}$* .

Está ubicado en la margen derecha del embalse de Bao. Mide unos 345m de longitud y tiene

42 El vertedero de Tavera puede manejar crecidas con pico de $6,900\text{m}^3/\text{s}$. Se ha usado la crecida de 10,000 años como crecida de diseño para verificar la capacidad del vertedero de Tavera. Al pasar esta crecida a través de los embalses de Tavera y Bao, los niveles de sus aguas fueron elevados hasta las cotas 329.5m y 331.0m asumiendo un ancho de fondo de 40 metros para el canal de comunicación. Y la descarga máxima fue reducida de $8,055\text{m}^3/\text{s}$ a $5,900\text{m}^3/\text{s}$ cuando el nivel inicial era de 327.5m y a $5,600\text{m}^3/\text{s}$, cuando el nivel inicial de las aguas era de 315.5m.

43 Para más información, ver el Ap. 5.7 Vertedero de Tavera o Tavera-Bao: componentes principales.

44 Avenida de $13,300\text{m}^3/\text{s}$, que es un 20% mayor que la avenida máxima probable (PMF) de $11,057\text{m}^3/\text{s}$, determinada por Hydrocomp.

La probabilidad de que ocurra una crecida por el paso del modelo de huracán, con un pico de $15,037\text{m}^3/\text{s}$ es extremadamente pequeña, ocurre cada millón de años. Y el hecho de que en los 80 años que van desde 1886 hasta 1966 tan solo dos huracanes y cuatro tormentas tropicales llegaron a la cuenca de los embalses de Tavera y Bao no descarta la posibilidad de que ocurran severos huracanes en el futuro, no importa cuán remota sea esa posibilidad que afecten a dichos embalses y al valle del Cibao que está aguas debajo de los mismos.

Por lo que hay que estar preparados disponiendo de facilidades de salida para dichas crecidas.

45 HARZA-IF/ II-2.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

su solera en la cota 327.63m snm. Y tiene un dique de borde libre de 1.27m de altura en la cresta del vertedero, a todo lo largo del cauce de avenidas, que está diseñado para operar cuando el nivel del embalse de Bao suba sobre la cota de 328.9m snm⁴⁶.

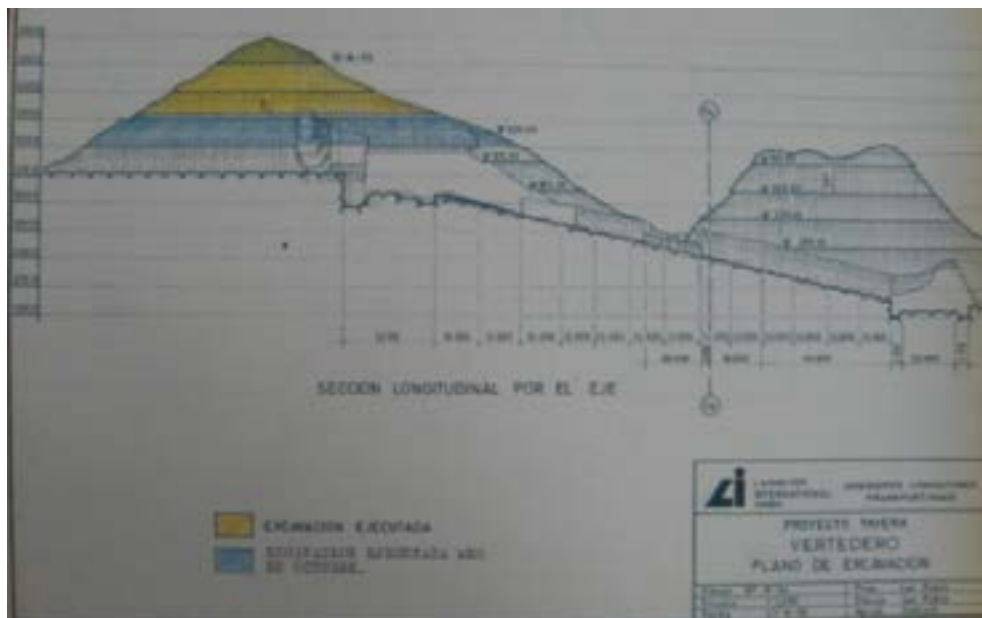


Fig. 5.11 PLANO DE EXCAVACIÓN VERTEDERO DE TAVERA



Fig. 5.11A VERTEDERO DE TAVERA

⁴⁶ Borde libre de 2.3m de altura y 8m de ancho.

Para más información ver el Ap. 5.8 Crecida del Modelo de Huracán y Vertederos de Emergencia.

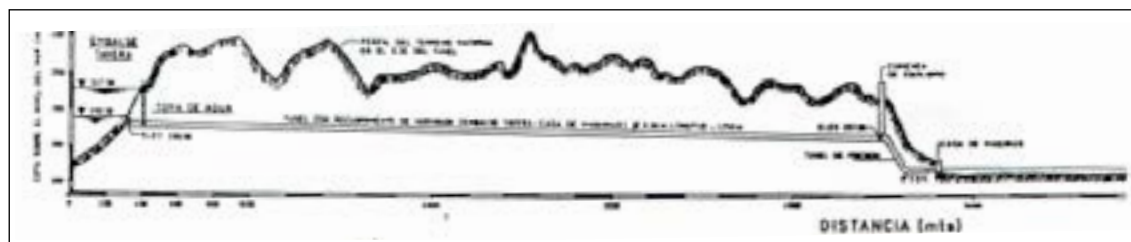


Fig. 5.12 TÚNEL DE CONDUCCIÓN DE TAVERA

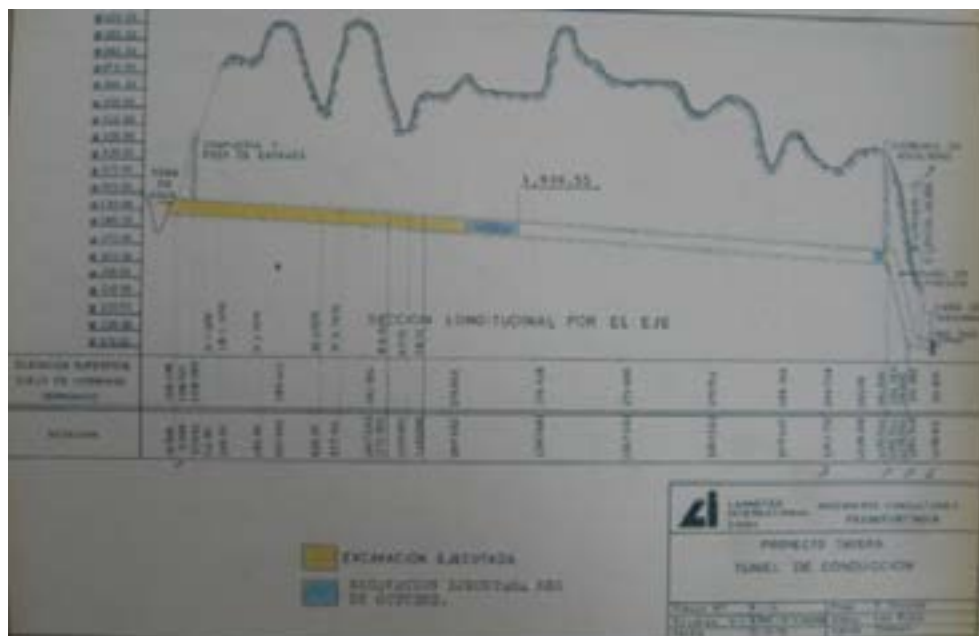


Fig. 5.12A PLANO DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN DE TAVERA

TÚNEL DE GENERACIÓN (de Tavera)

El túnel de generación o túnel de presión conduce las aguas del embalse de Tavera hasta la casa de máquinas donde es turbinada. Tiene una longitud total de 4,130m y la chimenea de equilibrio del túnel tiene una altura total de 74m. Su *capacidad máxima de descarga es 100m³/s* y la presión máxima de operación es 57.00m⁴⁷.

La obra de toma, en la entrada del túnel, está constituida por una compuerta vagón completa (6.50 x 7.50m). Y para la evitar la entrada de troncos, palos, etc., tiene dos rejillas móviles (7.50 x 7.50m).

En la casa de máquinas hay dos turbinas Francis de eje vertical, con capacidad para generar 40 MW cada una, y los caudales turbinados son desaguados al río Bao. Los caudales turbinados se pueden conocer conociendo el nivel del embalse y la potencia generada⁴⁸.

47 **Túnel de generación:** 4,130m. De los cuales **345m están revestidos de acero** (215m con diámetro de 5.0m y 130m con diámetro de 3.4m).

La chimenea de equilibrio tiene una altura total de 74m. La parte superior tiene una altura de 16.50m con un diámetro de 13m. La altura máxima alcanza el agua por efecto de la oscilación, cuando se produzca el golpe de ariete es la cota 337.00m snm.

HARZA-MOM I/ I-II-3 y V-I RAMÍREZ-IIB/ 4.

48 **RAMÍREZ-IIB/ 5.**

TÚNEL DE RIEGO (de Tavera)

El túnel de riego de la presa de Tavera tiene el propósito de **garantizar un suministro permanente de agua** de riego en caso de que la “planta hidroeléctrica no pueda ser operada” (p. ej., durante los trabajos de revisión y mantenimiento) o cuando “el nivel del embalse está por debajo de la cota 300m snm”. Y sirve además como *desague de fondo*.

Nace en la margen derecha de la presa, está *unido al túnel que sirvió para desviar las aguas del río*, durante la construcción. Mide unos 312m en total y su *funcionamiento* es “a presión” en el primer tramo, hasta la cámara de presión, mientras que en el segundo tramo funciona como “descarga libre”⁴⁹.

La *toma del túnel* está formada por dos compuertas corredizas (2 x 2m) de alta presión, una tras otra, y la compuerta de aguas arriba sirve de compuerta reguladora. Y la presión máxima del agua es de 71m, con el nivel del embalse en la cota 327.5m.

La operación del túnel de riego debe limitarse a casos excepcionales inevitables por la velocidad elevada del agua (30m³/s), que produce *cavitación en el revestimiento del hormigón y desgaste en las compuertas*. Por lo que se deben hacer inspecciones periódicas, sobre todo después de usar el túnel de riego, para comprobar el estado del revestimiento del hormigón y el funcionamiento de los equipos.

Por razones económicas obvias, es preferible turbinar las aguas necesarias para riego, en vez de sacarlas directamente por el túnel de riego. Y en el caso de que sea necesario extraer agua del embalse, por no poder hacerse por las turbinas, sería preferible hacerlo *por las compuertas plegables, o las compuertas radiales*, ya que por ellas la velocidad del agua es más reducida y el desgaste del equipo es menor⁵⁰.

TÚNEL DE DESVÍO DE TAVERA

El túnel de desvío **canalizó las aguas del río Yaque del Norte, durante la construcción de la presa de Tavera**, para que no interfirieran con los trabajos de su construcción. Y cuando se terminó su construcción se *cerró* la entrada del túnel con vigas de hormigón, y con un tapón de hormigón de 14m a la mitad del túnel, en la parte del cambio de dirección.

Y desde ese momento fue *aprovechado como parte del túnel de riego*.

Está situado en la margen izquierda de la presa, en lo que originalmente era la ataguía de aguas arriba, la que fue integrada al cuerpo de la presa. Su diámetro es de 10.10m, y la *capacidad máxima de descarga era de 1200m³/s*.

La medición del desague por el tapón debe ser tomada una vez por semana.

TÚNEL DE DESVÍO DE BAO

Un túnel **desvió las aguas del río Bao durante los tres años de la construcción de la presa de Bao**. El desvío se realizó el 28 de julio de 1979 y los trabajos de la fundación de la presa, en el lecho del río se iniciaron al día siguiente.

El túnel está situado en el lado izquierdo de la misma, y *mide 360m de largo y 7.50m de diámetro interior*, excavado en roca y revestido de concreto, descargando el agua nuevamente al canal principal, 220m aguas abajo del pie de la presa. La parte más baja de la toma está en la cota 231m y la salida en la 229m⁵¹.

Podía *conducir una creciente de diseño de derivación de 1,000m³/s*, recurrente cada 30 años, con una caída de 45m entre el nivel aguas arriba y el nivel de las aguas de descarga⁵².

49 **Sección del túnel de riego.** Se inicia con una sección de 3.50m de diámetro hasta su unión con el túnel de desvío, donde cambia a 10.10m de diámetro hasta la salida, en el talud aguas abajo del dique.

50 **RAMÍREZ-IIB/ 6-7.**

51 **Túnel revestido de concreto**, en lugar del túnel no revestido propuesto en 1972, dada la *posibilidad de daños al interior del mismo por la alta velocidad del agua*. El revestimiento de concreto permite altas velocidades con seguridad, y por otra parte, no costaba más ya que se podía reducir el diámetro de 10.5 a 7.5m, a la luz de un nuevo análisis de las crecientes.

HARZA-IF/ III-22 RAMÍREZ-IIB/ 10.

52 **Creciente de 1,000m³/s, válida para el túnel que sólo se usaría tres años**, durante la construcción de la presa de Bao.
HARZA-ISF/II-13 HARZA-ISFA/ A-7 HARZA-MOM-I/ I-II-2.

El *cierre del túnel* cuando comenzó el llenado del embalse, incluyó la construcción de un tapón de concreto de 15m de longitud (de 661m³ de concreto). Se empezó el cierre en febrero de 1983, época en que el río llevaba poca agua (menos de 15m³/s), y se completó a mediados de mayo de 1983.

Actualmente sirve como desagüe de fondo.

INSTRUMENTOS DE CONTROL

Se ha instalado una red de instrumentos en el interior de la presa de Bao y de la depresión No. 2, así como en áreas adyacentes, **para conocer el comportamiento interior de la presa**, detectar las fallas activas que puedan existir en la vecindad de las presas de Tavera y Bao, y los sismos que puedan inducirse por el llenado de sus embalses.

Comprende *ocho tipos diferentes de instrumentos* para controlar y registrar las condiciones y los cambios específicos dentro del área inmediata de la obra⁵³.

Con dicha red de instrumentos **se controlan** las presiones de agua dentro de los poros, los esfuerzos, las filtraciones, la consolidación de los estribos, de los diques, y de sus fundaciones así como sus respuestas a un sismo. Datos que se complementan con las mediciones del nivel del embalse y del drenaje, análisis de agua e inspecciones visuales.

Su **finalidad** es tener el control exacto de la presa *para una operación segura del embalse* y aumentar al máximo la vida útil del proyecto.

GALERÍAS DE DRENAJE

Para prevenir el desarrollo de altos niveles freáticos que pudieran crear condiciones inestables en los estribos y fundaciones de la presa, se establecieron cortinas de drenaje a fin de *controlar, coleccionar y medir el agua de las filtraciones*.

La fundación de la presa es drenada, aguas abajo, por medio de cortinas de drenaje construidas desde *dos galerías* cercanas a la depresión No. 2. La galería del lado izquierdo tiene 414m de longitud, y la del lado derecho 531m.

Desde el interior de ambas galerías se perforaron *agujeros de drenaje* hacia el interior de la fundación del dique, hasta 5m por debajo de la cota más baja del terraplén, protegidos con tuberías de PVC⁵⁴.

EL EMBALSE DE BAO

EL EMBALSE

El embalse de Bao **se creó con la construcción de la presa de Bao**, *cerrando el flujo del río Bao* hacia el Yaque del Norte, y represando sus aguas con una presa principal de 110m de altura y 1.0km de diques auxiliares, completando el cierre hecho por las montañas que rodean el embalse⁵⁵.

53 **Ocho tipos de instrumentos.** Piezómetros, pozos de observación. Vertederos y agujeros de drenaje. Análisis químicos del agua. Células de esfuerzo total. Instrumentación de asentamiento. Instrumentación sísmica y galerías de drenaje.

Para más información ver el Ap. 5.9 *Red de Instrumentación en la Presa y Diques de Bao*.

54 **Galerías de drenaje.** Su construcción supuso un volumen de 5,934.30m³ de excavación, y 238.78m³ de concreto en las zonas que requirieron revestimiento.

HARZA-IF/III-35.

55 **Los embalses de regulación** buscan regular los caudales naturales de los ríos, almacenando sus aguas en las épocas lluviosas, cuando son abundantes, para que estén disponibles y puedan ser usadas a lo largo del año y en especial en épocas de sequía.

Mientras que los embalses para **control de crecidas** tienen como objetivo principal controlar las crecidas disminuyendo el pico de las avenidas, que podrían causar grandes daños aguas abajo de donde están construidos. Los embalses de regulación también controlan las crecidas, en mayor o menor grado, según su diseño.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

Inundó parte de los valles del río Bao y sus afluentes (los ríos Jagua, Gnianajuma, Baiguaque, Jánico y Gurabo) hasta la cota 327m, así como dos quebradas grandes, y una gran parte de la falla de Tavera, una de las fallas principales que limita la depresión Cibao⁵⁶.

La mayor parte del embalse está contenido en los cañones angostos y profundos de dichos ríos. Y la otra parte incluye *dos porciones en forma circular*: una adyacente a la presa (de 1km de diámetro aprox.), y otra a 1.5km aguas arriba de la presa, en la confluencia del río Jagua y el río Guanajuma, cerca del canal de interconexión⁵⁷.

Características. El embalse tiene un *área total de 10.0km²*. Y sus dimensiones máximas son 7.6x5km, de O-E y de N-S, respectivamente.

Su capacidad es de 244M m³, de los cuales 125M m³ son el volumen útil y 155M m³ el volumen muerto, en la cota máxima de operación (327.50m)⁵⁸.

La *cota del embalse de Bao es igual a la de Tavera, 327.50m*, para que al comunicar los dos embalses, por medio del canal de interconexión, *el nivel máximo de operación* de Bao sea en la cota 327.50m, como en Tavera, dejando un borde libre de 5m entre el nivel de agua y la cresta de la presa. Su *nivel máximo excepcional* es en la elevación de 329.5m. Y el nivel mínimo en la cota 311.0m, condicionado por el fondo del canal de interconexión⁵⁹.

Y se conecta con el embalse de Tavera por un *canal de 1.5km de longitud*. El aporte de las aguas del embalse de Bao permite casi triplicar la producción eléctrica de la central hidroeléctrica de Tavera, entre otros beneficios.

CUADRO 5.5
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS
EMBALSES DE TAVERA Y BAO⁶⁰

Área de la cuenca	864km ²	
Nivel máximo de embalse	327.5m	(Sup. lago 9.2km ²)
Nivel mínimo de embalse	315.0m	(Sup. lago 7.3km ²)
Volumen total de embalse	280 M m ³	
Volumen efectivo de embalse	125 M m ³	
Volumen inactivo del embalse	155 M m ³	

Vs

EMBALSES	BAO	TAVERA
Área del desagüe (km ²)	900	778
Caudal promedio anual (m ³ /s)	20.1	20.3
Creciente M ^a de diseño (m ³ /s)	5,995	7,545
Nivel M° normal de operación del embalse (m)	327.5	327.5
Volumen embalse a elev. max. normal, M m ³	244	173
Área a nivel M°, km ²	10.0	6.1

HARZA-IF/1 (1982) que corrige y actualiza los datos de HARZA-ISF/VI (1976)

⁵⁶ **El embalse inundó parte de los valles.** La mayor parte del embalse está en el flysch de la Serie de Tavera abajo y en el conglomerado. La excepción es una parte del embalse que inundó al arroyo Gurabo, tributario del Bao, al oeste del dique auxiliar, que está sobre flysch calcáreo. Pequeños bancos de coral están presentes en el flysch calcáreo de la serie de Tavera arriba

La falla de Tavera, una de las fallas principales que limita la depresión del Cibao, corta a través del embalse de Bao.

⁵⁷ HARZA-ISF/ 1-2 y HARZA-ISFA/ B 2, 18, 20.

⁵⁸ CDE-COM/5 vs KD-AN1/22.

⁵⁹ CDE-COM/5 HARZA-ISFA/ BI-2, 6, 22 HARZA-ISF/ II-2 y CDE I-J/ 27.

⁶⁰ KD-AN1/ 22.

Impermeabilidad del embalse. Según el informe geotécnico, en el área del embalse *no se detectaron condiciones geológicas que indicaran posibles filtraciones de agua o deslizamientos de taludes*, que puedan afectar la retención de agua y las características del embalse. Según dicho informe “su geología es más que aceptable, es excelente”⁶¹.

CUADRO 5.6
NIVEL, ÁREA Y VOLUMEN DE LOS EMBALSES
DE TAVERA, BAO Y TAVERA-BAO

Elevación Embalse	Área (Km ²)			Volumen (Mm ³)			Notas
	Tavera	Bao	Tavera + Bao	Tavera	Bao	Tavera +Bao	
332.50	6.75	11.25	18.00	204.00	294.00	498.00	
331.00	6.58	10.90	17.48	194.00	278.00	472.00	
329.00	6.30	10.30	16.60	182.00	258.00	440.00	
327.50	6.10	10.00	16.10	173.00	244.00	417.00	Nivel Máximo normal
326.00	5.80	9.50	15.30	163.00	226.00	389.00	
320.00	5.10	8.00	13.10	130.00	177.50	307.50	
315.00	4.48	6.90	11.38	105.00	140.00	245.00	
312.00	4.12	6.25	10.37	92.50	121.00	213.50	
311.00	4.00	6.08	10.08	87.50	115.00	202.50	Nivel mínimo normal
310.00	3.90	5.85	9.75	84.00	108.00	192.00	
305.00	3.32	4.90	8.22	65.00	81.00	146.00	
300.00	2.78	4.00	6.78	51.00	59.00	110.00	
295.00	2.30	3.15	5.45	38.00	43.00	81.00	
291.00	1.93	2.50	4.43	28.00	32.00	60.00	
290.00	1.90	2.30	4.20	26.00	30.00	56.00	Nivel mínimo de operación
289.00	1.85	2.15	4.00	25.00	27.50	52.50	
285.00	1.57	1.55	3.12	19.09	19.50	38.59	
280.00	1.17	0.96	2.13	12.67	12.82	25.49	
275.00	0.82	0.68	1.50	7.60	8.62	16.22	
270.00	0.46	0.49	0.95	4.46	5.78	10.24	
265.00	0.25	0.35	0.60	2.70	3.73	6.43	
260.00	0.18	0.19	0.37	1.20	2.37	3.57	
255.00	0.07	0.17	0.24	0.30	1.49	1.79	
250.00	0.02	0.13	0.15	0.02	0.75	0.77	
249.00	---	0.12	0.12	---	0.63	0.63	
245.00	---	0.08	0.08	---	0.25	0.25	
240.00	---	0.02	0.02	---	0.03	0.03	

61 **Impermeabilidad del embalse.** Las pruebas realizadas en el conglomerado y flysch que serían inundados, así como en diversas partes del embalse, incluida la falla regional, indicaron que estos materiales eran casi impermeables, sin posibilidades de grandes escapes de agua, salvo excepciones.

Y el estudio de las aerofotografías indicó que *era bastante remota la posibilidad de que ocurrieran derrumbes importantes en las laderas del embalse*. La geometría del embalse y la geología de sus rocas reducen al mínimo la posibilidad de un derrumbe de magnitud de perjudicar el proyecto. **CDE I-J/18 y 30.**

Con todo, se aplicaron *inyecciones, con cortina de enlechado, a zonas concretas* debajo de la presa y a lo largo de la loma. Así como debajo de los terraplenes, estribos de rocas y de los vertederos libres, para evitar escapes de agua a lo largo de la margen izquierda⁶².

El **primer llenado de Bao** se empezó el 28 de febrero de 1983, después del cierre de la compuerta en la toma del túnel de desvío. Y no fue sino hasta tres meses después, a principios de junio de 1983, que el agua del embalse de Bao llegó a la cota 311.0m y cruzó por el canal de interconexión hacia el embalse de Tavera.

El llenado se hizo *con el caudal del río Bao exclusivamente*, ya que el agua del embalse de Tavera se usaba totalmente para la generación de energía⁶³.

Y antes de su construcción **vivían unas 400 familias en el área del embalse**, que practicaban agricultura de subsistencia y fueron relocalizadas a “Villa Bao” en La Canela, a 15km de Santiago⁶⁴.

CAUDALES Y NIVELES DEL EMBALSE DE BAO

El **caudal anual** del río Bao a la entrada de su embalse es de $20.1\text{m}^3/\text{s}$, en promedio (49.50% del caudal total que ingresa en el embalse integrado Tavera-Bao). El caudal del Yaque del Norte en Tavera es de unos $20.5\text{m}^3/\text{s}$.

Hay datos de los **caudales mensuales** del río Bao en Sabana Iglesia, y del Yaque del Norte en Tavera, desde el año 1958. Si bien algunos de estos datos fueron estimados mediante un análisis de regresión⁶⁵.

El **caudal diario del Bao**, en su embalse, oscila *entre menos de $10\text{m}^3/\text{s}$ - $500\text{m}^3/\text{s}$* a lo largo del año. Tormentas concretas pueden provocar caudales tres o cuatro veces mayores que el promedio diario, dado el pequeño tamaño de la cuenca, por cortos períodos de tiempo.

Y las tormentas de los *huracanes* pueden producir crecidas con unos $2,000\text{--}4,000\text{m}^3/\text{s}$ de caudal.

Los caudales mayores, y los de mayor producción hidroeléctrica por el embalse Tavera-Bao, suelen ser en *abril-junio y noviembre*, siendo provocados por las corrientes tropicales, los huracanes y el paso de frentes fríos a través de la cuenca.

62 **Inyecciones con cortina de enlechado**, de 40m de profundidad promedio, como protección adicional, en ciertas zonas. Y para el control de la infiltración se hizo una galería de drenaje en cada estribo de roca del terraplén principal

HARZA-ISFA/ B, 5, 21,41-12 y HARZA-ISF/ II-4.

63 **El primer llenado del embalse de Bao.** Tres semanas después de cerrar la compuerta en la toma del túnel de desvío, cuando el embalse alcanzó la cota 280.0m llegando el agua a la compuerta mas baja de la *torre de toma para agua potable*, un buzo descendió a la cota 244.75m para cerrar la válvula de 30”, para que el abastecimiento de agua potable se hiciera en el futuro utilizando las compuertas y las aberturas de la nueva toma.

Se consideró la posibilidad de usar parte del caudal afluente del Yaque del Norte al embalse de Tavera para complementar el llenado del embalse Bao. Pero, la generación de energía continua por una unidad requería un mínimo de $17.5\text{m}^3/\text{s}$, por lo que no había, prácticamente, ningún exceso de caudal hacia el embalse de Tavera que pudiera usarse en el llenado del embalse de Bao.

Se tardó tres meses en el llenado. Pero si se hiciese con solo con el caudal del río Bao, en un año de lluvias promedio, se tardaría probablemente unos cinco o seis meses. En un año lluvioso, como 1970, en dos meses. Y en año seco, como 1959, llevaría más de ocho meses.

HARZA-ISF/ 1-2, HARZA-ISFA/ A-2 y HARZA-IF/III-51.

64 **Vivían unas 400 familias en el área del embalse** pero la mayor parte del área del embalse Bao no se encontraba bajo explotación agrícola, debido a la inclinación muy pronunciada del terreno y a su poca fertilidad.

Para más información ver el Ap. 5.10 *Relocalización de las Familias del Área del Embalse de Bao.*

65 **Los datos faltantes** se obtuvieron por análisis regresivo, curvas y otros modos de extrapolación admitidos como seguros. Luego se completaron los **caudales mensuales** medios de Tavera y Sabana Iglesia, para el período 1958-1971, ya que sus datos no parecían confiables, sus registros hidrológicos y las circunstancias del aforo parecían alterados.

El caudal mensual medio total para el periodo entero de catorce años (1958-1971) fue de unos $40.06\text{m}^3/\text{s}$. El *método seguido* en todo el proceso puede verse en CDE 11-2/ 14-7 y el “Caudal medio del río Yaque Norte en Tavera, y del Bao en Sabana Iglesia 1958-1971” puede verse ídem en la Tabla 1. Y en forma similar se hizo para la determinación de los *datos faltantes posteriores a 1971.*

HARZA-ISFA/ A-I.

El caudal anual máximo fue de $26.0\text{m}^3/\text{s}$ (1991), año en que “los niveles de operación del embalse fueron los más elevados”, manteniéndose por encima de la cota de 32m en la mayoría de los meses, con un nivel promedio anual de 315.54m.

Y el *caudal máximo* absoluto registrado fue de $2,000\text{m}^3/\text{s}$, siendo causado por el huracán David (1979)⁶⁶.

Y el *caudal mensual menor*, en los últimos años, fue de $11.9\text{m}^3/\text{s}$ (agosto 1990), con un nivel de operación de 289.59m, cerca del nivel más bajo posible (278.0m). Mes que fue el más crítico de entrada de agua a la presa⁶⁷.

CUADRO 5.7
CAUDAL DE LOS RÍOS YAQUE DEL NORTE Y BAO (M^3/S)

Estación / Mes	Yaque del Norte Los Velazquitos (1981-1994)	Río Bao Sabana Iglesia (1967-1979)
Enero	23.8	13.6
Febrero	22.5	13.6
Marzo	19.1	13.5
Abril	22.3	17.2
Mayo	41.7	28.9
Junio	25.6	27.1
Julio	20.3	16.6
Agosto	21.4	13.9
Septiembre	25.1	19.0
Octubre	26.5	26.1
Noviembre	31.2	25.0
Diciembre	22.3	24.7
Promedio	25.1	20.0

66 **KD-AN1/ 20**, que cita a Marcelo Jorge (1991).

Caudal máximo e inundaciones Del análisis de las cuatro inundaciones del embalse (período 1984-1992) se desprende que la máxima concentración de caudal se produce a las seis horas, con un factor de rendimiento de 0.5, siendo la lluvia máxima potencial 45.8mm y la lluvia efectiva 17.2mm. Los caudales de descarga máxima se presentaron a las seis horas con $572.1\text{m}^3/\text{s}$. Máximos todos que corresponden a la inundación de 1988.

KD-AN7-se/ 66.

Para un análisis de las cuatro inundaciones ocurridas en el embalse de Bao (1982, 1986, 1988 y 1989) ver **KD-AN7-se/ 40-42.**

67 **Los caudales son publicados** como *promedios diarios y mensuales* por el INDRHI. Y para las *crecidas* se pueden obtener los “niveles horarios” y la “curva de calibración” solicitándolos al **INDRHI RAMÍREZ-IIA/ 1.**

KD-AN2-comb/ A-6.

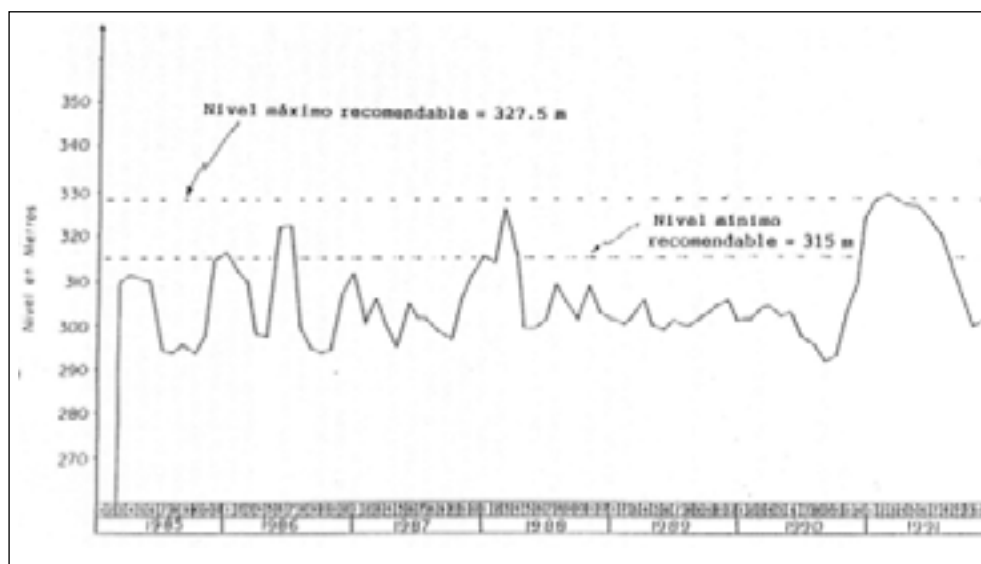


Fig. 5.13 VARIACIÓN DEL NIVEL DEL EMBALSE TAVERA-BAO EN LOS ÚLTIMOS SIETE AÑOS (KD-AN2-exp/ 7)

Fuente: CDE

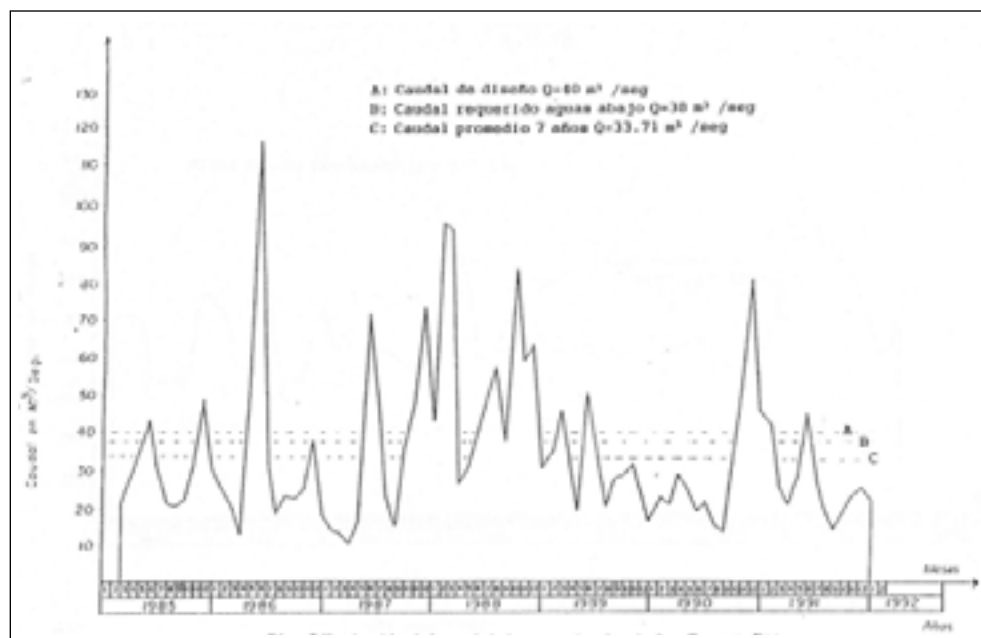


Fig. 5.14 VARIACIONES DEL CAUDAL DE ENTRADA AL EMBALSE TAVERA-BAO EN LOS ÚLTIMOS SIETE AÑOS (KD-AN2-exp/ 8)

Fuente: CDE

CUADRO 5.8
CAUDALES DE LAS CRECIENTES MÁXIMAS ANUALES
DEL RÍO BAO, EN SABANA IGLESIA
(Área de drenaje = 887km²)⁶⁸

Año	Q m ³ /s	Año	Q m ³ /s
1955	711	1965	327
1956	147	1966	217
1957	167	1967	149
1958	636	1968	374
1959	158	1969	334
1960	370	1970	460
1961	225	1971	365
1962	208	1972	243
1963	608	1973	397
1964	279	1974	546

RED HIDROMÉTRICA QUE SIRVE AL EMBALSE TAVERA-BAO⁶⁹

Los caudales de los ríos afluentes a los embalses de Tavera y Bao pueden ser conocidos por los registros hidrométricos en las siguientes *estaciones*

	Estación
Embalse de Tavera:	Los Velazquitos (río Yaque del Norte)
Embalse de Bao:	Aguas Calientes (río Bao)
	Higuera (río Jagua)
	Los Pilones (río Baiguaque)
	El Cerrazo (río Guanajuma)
	Fortaleza (río Jánico)

⁶⁸ HARZA-ISFA/ A-16.

⁶⁹ En 1972 la CDE tuvo intención de instalar una red hidrométrica en las cuencas aguas arriba de los embalses, a fin de poder prever la disponibilidad de agua y operar la central hidroeléctrica de Tavera con la mayor eficiencia posible. Se estaba consciente de que sin ella sólo un 95% de los caudales podían ser aprovechados para la producción de energía, por razones de seguridad. CDE I-J/ 41.

El “Estudio de Factibilidad de Tavera-Bao” (1972), de la CDE recoge el “Estudio sobre la rehabilitación y ampliación de la Red Hidrometeorológica, e instalación de una Red de Teletransmisión para el control de las Crecidas y la Operación del embalse Tavera-Bao, en las cuencas de los ríos Yaque del Norte y Bao”, preparado por H. Sellies, experto de N.U.

CDE III-6. No.6.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

CUADRO 5.9
CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS
DE LOS RÍOS QUE FLUYEN A LOS EMBALSES DE TAVERA Y BAO

NOMBRE ESTACION	Cuenca/Río	LOCALIZACIÓN			EQUIPO DESTINADO	FECHA OPERACION	OBSERVACIONES
		COORDENADAS Latitud/Longitud	Altitud (m.s.n.m.)				
EL RIO	En la Cuenca Alta del río Jucosa	18°38'50"	70°37'40"	1120	Pluviógrafo	Septiembre 1967	Pluviógrafo con banda de curio anual
HOVANO	En la Cuenca Alta del río Yape del Norte	18°04'40"	70°43'00"	845	"	Enero 1967	" " "
JANAYACA	En la Cuenca Media del río Yape del Norte	18°03'00"	70°38'00"	500	" (falsa)	Septiembre 1967	" " "
DAVITA	Junto al Balse de Tavera	18°16'40"	70°42'50"	261	"	Marzo 1972	Se cortó el registrador
LOS VELARQUITOS	Río Yape del Norte	18°12'43"	70°40'52"	360	Límanógrafo	Marzo 1961	Falta teleléctrico para aforo orilla
REZORO	Río Jucosa	18°01'08"	70°34'58"		Límanógrafo Pluviómetro	Febrero 1961	"
HOVANO	Río Yape del Norte	18°04'00"	70°43'00"	843	Límanógrafo	En construcción	"
CASA DE PICHUROS	Río Jucosa	18°05'34"	70°35'39"	350	Límanómetro	Diciembre 1960	Existen tres secciones de río
LOSA QUEVEDA	Cuenca del Río Yape que del Norte en la Hovano y el extremo oeste de la cuenca	14°05'11"	70°52'29"	1745	Pluviógrafo	Octubre 1962	"
LA PITA	Límite superior de la Cuenca del Río Baiguate	18°02'03"	70°39'41"	1400	"	Enero 1962	"
PAGO BAIGUATE	Río Baiguate	18°02'35"	70°36'41"	970	Límanógrafo Pluviógrafo	Julio 1961 Proyecto	"
PIZA GRANDE	Piza Grande	18°12'30"	70°59'15"	2000	Una de evaporímetros tipo A Pluviógrafo Actinógrafo Anemómetro Termómetro de máxima y mínima Hidrotérmetro Pluviómetro	Pluviógrafo Septiembre 1968 Estación climatológica Septiembre 1960	"
JAVEY	Divisoria de los ríos Cuzapana y Baiguate	18°10'13"	70°46'38"	500	Pluviógrafo	Enero 1960	"
CONCHA	Cuenca Alta del Río Yape	18°09'20"	70°51'16"	940	"	Enero 1960	"
CHULETE	Divisoria de la Cuenca alta de los ríos Bao y Yape	18°16'31"	70°50'13"	640	"	Enero 1960	"
LOSA DE LOS RÍOS	Punto a la confluencia de la Cuenca alta de la Cuenca del Río Bao	18°01'15"	71°02'42"	800	Higrotérmetro Pluviógrafo	Enero 1960	"
POZO GRANDE	Extremo noroeste de la Cuenca del Río Bao	18°01'44"	70°59'40"	2950	Higrotérmetro Pluviógrafo	Septiembre 1974	"
VALLE DE LAO	Río Bao	18°02'04"	71°04'02"	1740	Pluviómetro	Enero 1961	"
CHOCLETO	Río Yape	18°12'16"	70°48'52"	3503	"	Noviembre 1961	"
REZORO	Río Yape	18°14'53"	70°55'13"	440	Límanógrafo	Julio 1960	Falta teleléctrico para aforo orilla
ALTA GUAYAS	Río Bao	18°14'20"	71°05'46"	540	"	Diciembre 1962	" " "
EL CUSANO	Río Cuzapana	18°14'01"	70°44'05"	435	"	Noviembre 1960	" " "
LOS FLORES	Río Baiguate	18°15'09"	70°53'55"	450	"	Febrero 1962	" " "
LA CUENCA	Confluencia río Bao	18°03'23"	70°51'53"	1120	Límanógrafo en teletransmisión	En proyecto	"
LAZ BOCHE	" " "	18°03'40"	70°01'40"	1100	" " "	" " "	"
BAO	Confluencia con la Cuzapana	18°03'08"	70°01'53"	1140	" " "	" " "	"
BAO EN BARRIO	Río Bao	18°12'21"	71°01'23"	700	Límanómetro	Febrero 1960	"
BAO EN BARRIO	Río Bao	18°18'14"	70°50'51"	400	"	Noviembre 1961	"
LAZ BOCHE	" " "	18°18'14"	70°53'50"	433	Pluviómetro	Enero 1962	"
LAZ BOCHE	Río Baiguate	18°11'46"	70°43'28"	560	Límanómetro	Febrero 1960	"
LAZ BOCHE	Río Baiguate	18°10'08"	70°45'58"	800	Pluviómetro	Enero 1962	"

CAUDALES MÁXIMOS DE LAS CRECIDAS PROVOCADAS POR HURACÁN

Suponiendo la **velocidad de huracán más baja** (8km/h), la crítica, “la precipitación diaria sería de 711.28mm para la cuenca del proyecto Tavera-Bao”, mucho más alta que cualquier precipitación que se haya registrado.

Y si la velocidad fuera de 16km/h, *el doble de la velocidad crítica*, la precipitación diaria en la cuenca de Tavera-Bao “se aproximaría a la precipitación del temporal de 10,000 años”⁷⁰.

Y el pico total de las crecidas se estimó en 15,037m³/s (7,223m³/s en Tavera y 7,814m³/s en Sabana Iglesia), a las 26 horas del comienzo del hidrógrafo, en base a los datos de las estaciones aguas arriba de Tavera y Sabana Iglesia⁷¹.

CRECIDAS DE DISEÑO (Caudales y frecuencias de crecidas)

La crecida de la tormenta de 10,000 años se estimó en 915m³/s para el Bao, en base a los datos de Bao y Pinalito (17 años)⁷².

La crecida de 10,000 años, con un flujo bajo de 50m³/s para cada cuenca (100m³/s en total), supone unos 8,055.4m³/s para la cuenca entera de Tavera-Bao, y su embalse conjunto.

Las crecidas en Tavera suelen ser mucho mayores que las de Sabana Iglesia. Si bien “a intervalos de recurrencia muy alta, la diferencia entre las magnitudes de las crecidas de las dos cuencas puede disminuir”.

Según los datos disponibles *las tormentas de 10,000 años provocan el 55% de las precipitaciones y crecidas de las tormentas de huracán*. Precipitaciones que “alcanzan el modelo de huracán si aumenta su velocidad a 16 km/h”, al doble de la velocidad crítica.

Y la crecida de diez años tendría un caudal de 1,602.1m³/s, a las 26 hs de haber comenzado la tormenta. Y se corresponde a una crecida de unos 1,500 años⁷³.

NIVEL DEL AGUA EN LOS EMBALSES DE TAVERA–BAO

Para obtener un **mejor aprovechamiento de los volúmenes de agua en los embalses**, se deben seguir los criterios de diseño de los embalses:

- *El nivel mínimo de operación normal recomendable es de 311.0m*, en Tavera-Bao. Nunca debe estar por debajo de él, pues coincide con el nivel del canal de interconexión (ver recuadro a continuación).
- *Y el nivel máximo recomendable es de 327.5m*, en ambos embalses, para poder producir la cantidad de energía contemplada en el diseño, con un mínimo volumen de agua.

Pues cuando la “diferencia de nivel entre la presa Tavera-Bao y la central hidroeléctrica” es muy baja, se necesita mayor caudal para producir la misma cantidad de energía. Así, para producir 40.00MW con una diferencia de nivel de

⁷⁰ **Caudales máximos teóricos de las crecidas de huracán.** Para su computación se usó un *modelo de huracán* inventado por la Oficina Meteorológica de los EUA (1961). Modelo que fue concebido principalmente para Puerto Rico y las Islas Vírgenes, y que está basado en las condiciones meteorológicas de todo el Mar Caribe.

Precipitación mucho más alta que cualquier otra registrada. Según los datos disponibles de 1930-1970 indican que la precipitación diaria máxima registrada en la cuenca de Tavera fue en Jarabacoa, con 233.8mm. Mientras que las precipitaciones de ese mismo temporal, al sur de la Cordillera Central, las máximas precipitaciones registradas fueron de 507.8, 452.6, 420.0 y 332.7mm. Los huracanes con alta incidencia de precipitaciones ocurren mayormente al sur de la Cordillera Central. **CDE 11-2/ 20-21.**

⁷¹ **CDE II-2/18-23.**

⁷² **En base a los datos de Bao y Pinalito (17 años).** La crecida de 10, 000 años en Sabana Iglesia estimada en unos 1,800 m³/s se desconsideró por no confiable, ya que se basaba en datos de solo cinco años en Bao y Sabana Iglesia.

⁷³ **CDEII/2425 y 28-30.**

70m se necesitan 68.7m³/s de agua. Y si la diferencia de nivel es de 110m sólo se necesitan 45.7m³/s. para producir la misma cantidad de energía. Por lo que, en el primer caso, se están desperdiciando 23m³/s, que podrían utilizarse para generar una mayor cantidad de energía eléctrica⁷⁴.

El **nivel de las aguas del embalse** debe estar entre 327.50 y 302.5m. Y cuando una turbina trabaja a su producción mínima de 11.2MW.

El embalse se llenó por vez primera en junio de 1984, y los **datos del nivel de agua** toma dos en sus primeros siete años (1984-1991) muestran que hubo *cuatro inundaciones*, llegando el nivel del agua del embalse casi hasta la línea máxima durante las mismas⁷⁵.

NIVELES DE LOS EMBALSES DE TAVERA – BAO

327.5m	nivel máximo recomendable
315.0m	nivel mínimos recomendable
278.0m	nivel mínimo posible

SEDIMENTACIÓN EN EL EMBALSE DE BAO

Los datos específicos sobre sedimentos son insuficientes en la cuenca y el embalse de Bao, no permitiendo determinar su sedimentación con el rigor debido.

El embalse de Bao se llenó en 1984 y el **primer levantamiento barométrico del embalse se hizo en 1991**, siete años después pero *no se pudo obtener la sedimentación real del embalse*, en base al mismo, pues el plano barimétrico de cuando empezó la operación del embalse resultó irreal.

Los datos del nivel de agua tomados en ese período muestran que en esos siete años hubo *cuatro inundaciones*, llegando el nivel del agua del embalse casi hasta la línea máxima durante las mismas, como dijimos.

Y se estima que *los sedimentos acarreados por esas cuatro inundaciones* son los responsables, básicamente, de la sedimentación experimentada por el embalse en dicho período.

No hubo levantamientos barométricos posteriores, por lo que se desconoce el ritmo de sedimentación desde el primer levantamiento batimétrico objetivado⁷⁶.

El embalse de Bao **se estima que recibe unos 640.000m³/año de sedimentos**, como promedio anual, y Tavera unos 560,000m³/año⁷⁷.

Sedimentos acumulados que **en 50 años alcanzarían unos 30.5Mm³** en Bao y 26.5Mm³ en Tavera.

74 KD-AN2-comb/ A9.

Para más información ver el Ap. 2.11 Operación óptima del Embalse da Bao (Plan de operación del embalse).

75 Datos del nivel de agua tomados tres días al mes (los días 1, 10 y 20 de cada mes).

76 **Primer y único levantamiento batimétrico del embalse de Bao.** Mientras que el primer levantamiento batimétrico del embalse de Tavera se realizó en 1979, a raíz del paso por su cuenca de los huracanes David y Federico. El segundo en 1981, después del huracán Allen, y el tercero en 1993.

Los levantamientos batimétricos miden la sedimentación retenida por el embalse. La comparación de los datos obtenidos con los anteriores permite conocer la tasa de sedimentación anual y ver su evolución, ayudando a manejar la sedimentación del embalse mediante programas de conservación que alarguen la vida útil del embalse tan vital para el desarrollo de la región del Cibao. **ESPINAL/ 4.**

77 **La tasa real de sedimentación del embalse de Tavera**, a la luz de sus batimetrías, ha sido: **2.25Mm³/año** entre el primer llenado y los huracanes David y Federico (1973-1981). Y **1.30Mm³/año** en el período posterior, en el que no se produce ningún evento extraordinario (1981-1993), por lo que se considera como la “tasa de sedimentación media en circunstancias normales”, sin huracanes.

La tasa de *sedimentación media histórica* se estima en **1,71Mm³/año**, incluyendo los sedimentos aportados por los huracanes. Debido a esta sedimentación Tavera *perdió un 20.7% del volumen útil* de su embalse, en el período 1973-1993. Fecha esta última en la que se estimaba su vida útil en unos “106 años con tasa de sedimentación media”, y de unos “64 años con tasa de sedimentación histórica”, incluyendo los aportes de los huracanes. **ESPINAL/17.**

La compactación reducirá el volumen de los sedimentos. El embalse muerto de Bao alcanza hasta la cota 300m snm, con una capacidad de unos 80 M m³, (y el de Tavera 50 M m³), por lo que el depósito de sedimentos del embalse de Bao *no afectará la vida útil del proyecto*⁷⁸

CUADRO 5.10
DEPÓSITO DE SEDIMENTOS EN TAVERA Y BAO⁷⁹

	Bao	Tavera
Afluente del caudal promedio	19.6 m ³ /s	20.5
Capacidad del embalse al nivel min. normal (327.5m)	280 Mm ³	170
Relación capacidad-afluente	0.45	0.26
Eficiencia de intercepción	96%	94%
Sedimento anual promedio del afluente	0.64 Mm ³ /año	0.56
Sedimentación anual promedio	0.61 Mm ³ /año	0.53

Según Kokusai-Desagro **la sedimentación real acumulada en el embalse de Bao** desde su construcción es *bastante baja, si bien ha coincidido con una serie de años secos*.

Por ello el riesgo de sedimentación temprana no está descartado, sino que permanece. De darse ésta produciría un incremento en los *costos de operación y mantenimiento del sistema de generación de energía hidroeléctrica*.

Por otra parte, la *acumulación excesiva de sedimento orgánico*, debido al arrastre de materia vegetal (hojas, etc.), genera una concentración de gases tóxicos, y elimina paulatinamente el oxígeno en el fondo del embalse. Lo cual “disminuye la posibilidad de usar el embalse como fuente de agua potable o para riego”, al menos sin gastos complementarios⁸⁰.

SEDIMENTACIÓN EN LA CUENCA Y EMBALSE DE BAO **ESTIMACIONES HISTÓRICAS**

Según **Mendar** (1959), los sedimentos anuales de la cuenca son un 1.1Mm³/año. Suponiendo que se deposita en el embalse un 90% de los mismos *la reducción del embalse útil en 100 años será de 99Mm³*, llenándose los embalses de Tavera-Bao hasta la cota 293.0m snm, si todos los sedimentos se depositan en el fondo de los embalses⁸¹.

Y según las mediciones del INDRHI (1940) en las aguas del Yaque del Norte, en la ciudad de Santiago, la sedimentación en el embalse de Bao sería de 1.1Mm³/año, depositando un total de 110Mm³ de sedimentos en 100 años, *subiendo así el fondo de los embalses a la cota 296m snm*⁸².

⁷⁸ HARZA-ISFA/A.11-12.

⁷⁹ HARZA-ISFA/ A-17.

⁸⁰ KD-AN2-comb/ A16.

Para **determinar la vida útil de los embalses de Tavera y Bao**, es necesario conocer el régimen probable de la sedimentación, ya ella es la que llenará el embalse reduciendo su vida útil.

La sedimentación se debe en su mayoría a la erosión de la tierra en los valles y cuencas de los ríos, causada por métodos agrícolas impropios. Por lo que si se mejoran los métodos agrícolas y se convierten los montes en bosques, la sedimentación se reducirá mucho en el futuro. CDEII-2/59.

⁸¹ **Mendar (1959)**, en base a mediciones hechas en Puerto Rico, en terrenos de condiciones fisiográficas similares, estimó que la erosión de la tierra en el río Yaque del Norte, es de unos 100m³/km² en tierra cultivada, 115m³/km² en tierra forestal, y 120m³/km² en tierra con pastos. Y los cantos rodados agregarían 10% más al material erosionado.

⁸² **Sedimentación en el embalse de Bao, 1.22Mm³ anuales**. Según las mediciones del INDRHI (1940) el material suspendido en las aguas del río Yaque del Norte en la ciudad de Santiago, era de unos 1.45Mm³ durante ese año. Como las muestras de la medición fueron tomadas directamente debajo de la superficie de las aguas, la cantidad medida sería como de 10% menor que el promedio para todo el perfil de la corriente del cauce. Por otra parte, 1940 fue muy lluvioso, por lo que el año promedió un 10% menos de sedimentos. Por lo tanto, la cantidad media de sedimentos sería de 1.45Mm³ anuales.

Mientras que la "operación óptima del embalse requiere que el nivel mínimo de las aguas esté en la cota 313.0m snm", por lo que se estima que la *vida útil del embalse será de unos 100 años*⁸³.

Según HARZA (1976) asumiendo que la carga en el lecho del embalse es más o menos el 10% de los sedimentos suspendidos el sedimento anual promedio del afluente al embalse conjunto sería de 1.2Mm³, cantidad que casi iguala al estimado de .22Mm³, basado en las mediciones de 1940.

Por lo tanto, el estimación de 1.2Mm³/año de sedimentación en el embalse integrado fue considerada aceptable para el estudio del proyecto de Bao. Y asumiendo que el afluente a cada embalse es básicamente *proporcional a su área de drenaje*, el embalse de Bao recibirá 640,000m³/año de sedimentos y Tavera 56,000m³/año.

La cantidad de sedimentos que podrían ser *atrapados en los embalses fue computada* dando un promedio anual de sedimentación no compactada de unos 61,000m³ para el embalse de Bao y 53,000m³ para Tavera. Y en 50 años sería de unos 30.5Mm³ para Bao y 26.5Mm³ para Tavera.

La compactación reducirá el volumen de sedimento. En la cota 300m snm el embalse muerto de Bao es de unos 80Mm³, y el de Tavera 50Mm³ por lo que el depósito de sedimentos *no afectará las funciones durante la vida útil del proyecto*⁸⁴.

CANAL DE INTERCONEXIÓN ENTRE LOS EMBALSES DE TAVERA Y BAO

Se construyó un **canal a cielo abierto entre los embalses de Tavera y Bao**, distantes unos 600m, en el nivel máximo de sus aguas (327.50m snm). Canal con una capacidad mínima de 3,200m³/s⁸⁵.

El canal es el **punto clave de la concepción del proyecto Tavera-Bao**.

- *Comunica el agua del embalse de Bao al de Tavera*
- *logra una más eficiente regulación de las aguas del Yaque Norte y Bao, con sus tributarios, que permite*
 - *duplicar la disponibilidad de agua*, que tenía el embalse de Tavera. Permite formar un embalse conjunto de 450Mm³ de capacidad (245Mm³ de volumen útil y 205Mm³ de embalse muerto)⁸⁶.
 - *triplicar la producción de energía hidroeléctrica para garantizar el agua para el distrito de riego proyectado y para el acueducto Cibao Central*.
- Y además permite *utilizar los sistemas hidroeléctricos e hidráulicos existentes en Tavera*, por las aguas del embalse de Bao, sin costo adicional.
- *y usar las obras y el vertedero de Tavera para desalojar las crecidas del embalse de Bao*. Así como su canal de escape y tapones erodibles si las crecientes exceden la capacidad del vertedero de Tavera. Lo que produjo un gran ahorro en el costo del proyecto de Bao⁸⁷.

83 CDE II-2/ 59-61.

84 HARZA-ISFA/ A.11-12.

85 **Sus aguas distan unos 600m, a los niveles máximos de 327.50m.** En la cota 315m fondo del canal, la distancia entre ambos embalses es de 1,200 metros, longitud que tendrá el fondo del canal de interconexión. CDE-IB/ 2-3.

86 **Embalse conjunto.** Al crearse un embalse de gran capacidad, se reducen las variaciones de los niveles del agua, "aumentando la altura de caída, y aumentando la producción de energía eléctrica, por esta razón, así como por disponer de mayor raudal regulado". CDE-IB/5 y 20.

87 **El Proyecto Bao**, integrado al proyecto Tavera, sólo consiste en una presa de tierra y del canal de interconexión, como estructuras principales.

Ahorro en el costo del proyecto Bao. El vertedero de Tavera construido entre 1969 y 1972 costó RD\$5.07M y se utilizará como obra principal para el manejo de las crecidas de Tavera y Bao. Con él no habrá necesidad de construir otro vertedero en Bao, cuyo costo se estimó en mas de RD\$15 M (1978) RODRÍGUEZ/ 79.

CDE-IA/ 9 HARZA-ISF/1-2 y 9.

LA IDEA DEL CANAL A CIELO ABIERTO

La construcción de un canal a cielo abierto de interconexión, entre el embalse de Bao y el de Tavera, fue **sugerido por el estudio de la CDE (1972)**.

Antes se propuso la interconexión de ambos embalses, mediante un túnel, pero fue descartada por razones hidráulicas y económicas.

Dadas las condiciones geológicas del área el túnel podría tener *un diámetro máximo de 10m. y un caudal de 470m³/s.* Mientras que según el estudio hidrológico de V.T. Chow, la interconexión debía ser capaz de un caudal de 3,200m³/s, para poder controlar las crecientes en ambos embalses y aprovechar el vertedero de Tavera⁸⁸.

De construir un túnel, que no pudiera trasvasar los 3,200m³/s, *habría que construir un vertedero adicional en el embalse de Bao*, con capacidad de descarga similar a la del vertedero de Tavera. Y los costos de todo ello sobrepasarían a los de un canal a cielo abierto de, en más de RD\$10 M (1972)⁸⁹.

Por otra parte la construcción de una interconexión limitada hidráulicamente, conllevaría una *reducción en la capacidad de regulación de los embalses*, de su producción hidroeléctrica, agua de riego y de todo tipo.

Se construyó aprovechando la depresión topográfica del arroyo Mateo, entre los embalses de Tavera y Bao. Sitio con condiciones topográficas y geológicas muy favorables para construir el canal, aunque la hondonada está atravesada por la extensa zona de falla de Tavera⁹⁰.

Características. *Mide 1.5km de largo, 40m de ancho y 12.5m de profundidad a una elevación máxima normal de la superficie del agua. Es de forma trapezoidal, sin ningún tipo de revestimiento*⁹¹.

La parte más baja del canal está en la cota 311. Con agua sobre ella los dos embalses se convierten en uno sólo, pero no hace tránsito por el canal de interconexión. Pero, por debajo de ella están incomunicados, y Bao no aporta agua a Tavera, ni a las diversas demandas hidroeléctrica y de riego, a través de Tavera⁹².

Su construcción requirió la excavación de unos 3Mm³ de material para lograr una conexión permanente entre las dos cuencas, con las características deseadas. El corte máximo fue de 50m de altura para llegar al fondo del canal⁹³.

88 **Capaz de un caudal de 3,200m³/s.** Caudal máximo de salida del embalse de Bao, con el nivel de las aguas del embalse en la cota 329.0m, con la crecida de 10,000 años que se adepto como *descarga de diseño para el canal de comunicación.* CDE-II2/ 43-48.

89 CDE-IH/17.

90 **Aprovechando la depresión topográfica del arroyo Mateo.** Más exactamente en la depresión natural existente entre ambos embalses, entre la *prolongación de los valles de los arroyos Mateo (cerca del embalse de Tavera) y el Guardarraya o Guanajuma (cerca del embalse de Bao).*

91 **Anchura del fondo del canal: 8m.** *El diseño final de Harza (1976), teniendo en cuenta consideraciones hidrológicas, geotécnicas y económicas. De las distintas alternativas, concluyó que la solución óptima era un canal de interconexión con su "nivel más bajo en la cola 311 y un fondo de 32m de ancho".* HARZA-ISF/ 3.

El estudio de la CDE recomendaba una "anchura de 40m en el fondo" del canal, que produciría una diferencia del nivel de las aguas de 1.5m, entre los dos extremos del mismo. La diferencia de nivel de las aguas se reduce según vaya aumentando el ancho del fondo, en proporción decreciente.

92 RAMÍREZ-IIB/ 10.

93 **La excavación del canal** fue hecha casi toda en flisch, y la mayor parte se hizo en la hondonada de la depresión. *El estudio de la CDE (1972) esperaba que un 85% del material excavado en el canal pudiera ser utilizado en la compactación de la presa y de los diques auxiliares, contribuyendo a una economía del proyecto. Pero el estudio posterior de HARZA determinó que su uso sería antieconómico.*

El material excavado fue desechado, finalmente, en sitios seleccionados en el área del embalse de Bao. Algunos de los materiales excavados eran apropiados para usarse en la presa. Sin embargo, el uso los mismos no pareció recomendable, debido a: 1) la larga distancia de acarreo (5 a 7km); 2) las pendientes de los caminos por donde irían a la presa, y a que, 3) obligaba a simultanear la excavación del canal y la construcción de la presa para evitar operaciones costosas de apilamiento.

Por ello se pensó que la mayor parte de la presa sería construida más económica y convenientemente usando los materiales excavados del canal de escape y de áreas de préstamo cercanas. HARZA-ISF/ II-4 y HARZA-ISF/II-9 y 10.

Se estima que ha ocurrido una creciente similar en una o dos ocasiones, en los últimos 400 años, en base a la investigación de las crecientes históricas principales en el área de Santiago. No fue posible asignarle una frecuencia concreta en base a los datos disponibles, pero se consideró que el caudal de diseño para el canal de interconexión era adecuado⁹⁷.



Fig. 5.15 CANAL DE COMUNICACIÓN CON LA PRESA DE TAVERA

EMBALSE CONJUNTO TAVERA-BAO

Gracias al canal de interconexión se forma un **embalse conjunto, integrado por los embalse de Tavera y Bao**.

Cuando el nivel de las aguas del embalse está por encima de la elevación del *fondo del canal* de comunicación, el embalse Tavera-Bao opera prácticamente como “un solo embalse”. Y cuando el nivel de las aguas del embalse está por debajo de la elevación del fondo del canal, los embalses de Tavera y Bao operan “independientemente”.

Características. El embalse integrado Tavera-Bao tiene una *superficie* de 15.4km², en el nivel máximo de operación (327.50m), y 11.7km² en el nivel mínimo (315.00m). Y una *longitud máxima* es de 15km en dirección E-O.

97 **Crecidas históricas en el Yaque del Norte, en el área de Santiago.** Se identificaron varias crecientes históricas considerablemente más grandes que las que aparecieron en los registros de caudales. *Las cuatro principales ocurrieron en 1810, 1851, 1909 y 1928*, y por orden de importancia hay que destacar las siguientes.

La creciente de 1810 fue probablemente “la mayor en la historia” de la ciudad de Santiago, fundada en 1562. No se pudo hacer un estimado razonable de su raudal máximo, pero hay indicios de que esta creciente tenía “dos veces el caudal que la creciente de 1909”, que fue la segunda mayor.

La creciente de 1909 fue causada por la tormenta tropical San Severo y se estimó su “caudal máximo entre 4,300 a 6,800m³/s en los sidos de las presas Tavera-Bao”. La creciente subió hasta la esquina de la Av. Estrelleta y Duarte en Santiago (cota 161.8m), de acuerdo a un antiguo residente de Santiago.

La creciente de 1851 fue “mayor que la de 1909 y menor que la de 1810”, según algunas informaciones históricas.

Y la creciente de 1928 se cree que fue “poco menor que la de 1909”. Alcanzó 1m abajo del camino del pequeño puente sobre el río Yaque del Norte a unos 200m aguas abajo del puente grande.

La *investigación* para determinar los niveles de agua de las crecientes históricas se hizo en base a documentos históricos, entrevistas con antiguos residentes de Santiago para las últimas crecientes, y reconocimientos de campo.

HARZA-ISFA/ A-4.5 Y B-5,21 y 41-42 HARZA-ISF/ II-4.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

Su capacidad de almacenamiento conjunto, total, es de 450Mm³ de agua, de los cuales:

- 190Mm³ son el volumen útil del embalse bajo condiciones normales, pudiendo llegar a unos 245Mm³ en la cota.
- 280Mm³ son aportados por el embalse Bao⁹⁸.

Recoge las aguas de 1,693km² de la cuenca alta del Yaque del Norte y su afluente el Bao. El Yaque del Norte drena una cuenca de 799km² hasta Tavera, y el Bao 894km² de cuenca hasta Sabana Iglesia.

La integración del agua de los embalses de Tavera y Bao un caudal natural total anual de $40\text{m}^3/\text{s}$ promedio y un *caudal regulado total anual de $38\text{m}^3/\text{s}^{99}$* .



Fig. 5.16 DIAGRAMA DE OPERACIÓN DEL EMBALSE (CDE-II2/ 31)

98 **KD-AN2-comb/ A-6.**

99 CDE III-6/ 1 y III-7/44.

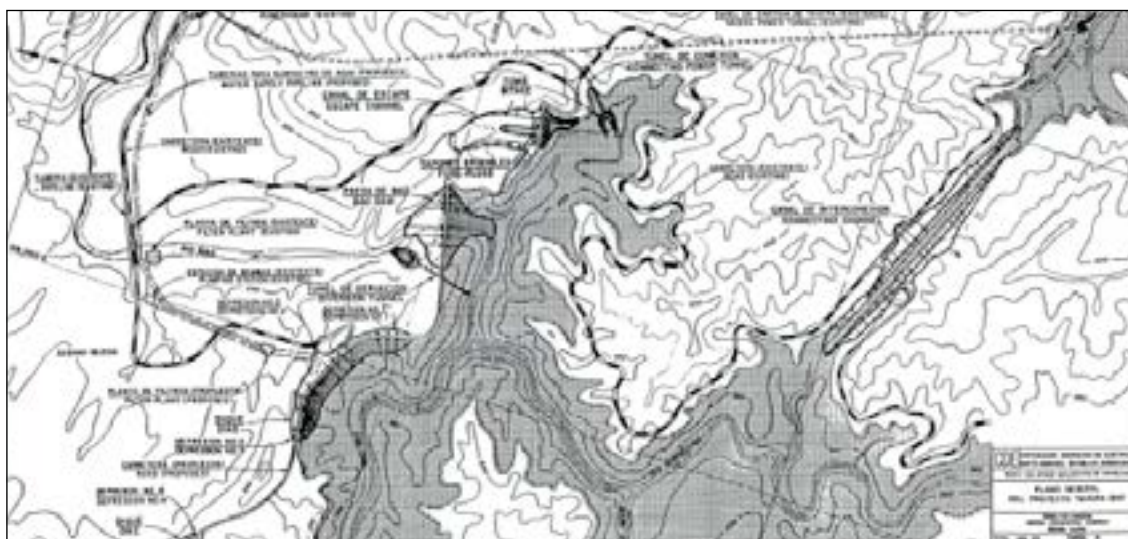


Fig. 5.17 DIQUES: PLANO GENERAL DEL PROYECTO TAVERA-BAO (DETALLE)

Fuente: HARZA-ISF/ Lám 3

OTROS COMPONENTES DEL PROYECTO

CENTRAL HIDROELÉCTRICA TAVERA

Las descargas de agua del embalse de Bao son usadas primeramente para la producción de energía hidroeléctrica, ordinariamente, encauzándolas por el túnel de presión.

Pero si hay *necesidad de agua de riego*, y no coincide con el horario de turbinación hidroeléctrica de Tavera, el agua se suelta por el túnel de riego.

El agua que se suministra al *acueducto Cíbao Central* desde el embalse de Bao ($3.5 \text{ m}^3/\text{s}$), se suelta directamente sin ser turbinada.

Y si hubiere exceso de agua, durante las crecidas, se descarga por el vertedero de Tavera. La operación del embalse debe ser tal que las descargas de agua procuren optimizar el uso del agua disponible para la satisfacción de los distintos usos.

La central hidroeléctrica de Tavera tiene *dos generadores de 40 MW* de capacidad máxima cada uno. Opera con

- 1 turbina todo el tiempo, produciendo energía “base”, y
- la otra funciona sólo en las “horas pico”. Pero si hay “excedente de agua”, se pone a funcionar la turbina de horas pico en cualquier momento, a fin de producir energía extra para ser usada en horario normal.

La *producción mensual* de energía oscila entre 11.2 - 80 MW, necesitando un caudal entre $17.5\text{-}110 \text{ m}^3/\text{s}$ o más. Un “mínimo de 11.2 MW” con una turbina, cuando el nivel de las aguas del embalse están entre 311.00-302.5m snm, y un “máximo de 80 MW”, aportados por las dos turbinas, cuando el nivel del embalse está a 327.50m.

El embalse debe ser operado dentro de estos requisitos para optimizar su rendimiento, producir la energía máxima y atender a los riegos comprometidos¹⁰⁰.

100 CDE II-II/33-36.

TOMA DE ENERGÍA

En el embalse de Bao **fue construida una toma de energía para facilitar en el futuro la ampliación de la capacidad hidroeléctrica del proyecto Tavera-Bao**. Ampliación que se previó con una *central hidroeléctrica adicional en Bao*, con una capacidad instalada de 100 MW.

La construcción del túnel de energía permitirá “aumentar la capacidad generadora de energía pico” y “usar el agua del embalse de Bao almacenada por debajo de la cota 310.0m”, que es la cota del fondo del canal de interconexión¹⁰¹.

Las **partes principales a construir** en el futuro serán el eje de la compuerta el túnel de energía, la casa de maquinas (ubicada a la salida del túnel de desvío, utilizado durante la construcción de la presa), instalación de la tubería forzada, y remoción de la compuerta de mantenimiento de concreto¹⁰².

El volumen de agua a extraer por la obra de toma *depende de la demanda de energía y de riego*. La mayor de las dos será la entregada, en un período de seis horas, en condiciones normales, con una potencia de 80MW¹⁰³.

TORRE DE TOMA PARA AGUA POTABLE

En el estudio de la CDE (1972) **se recomendó** que *durante la ejecución del proyecto Bao* se construyese una toma de agua para el acueducto de Santiago y sus alrededores, en el embalse de Bao. Por debajo de la cota 315, elevación mínima de operación del embalse Tavera-Bao, aguas arriba del dique No 2, y dimensionada para que pudiera suministrar el agua requerida más allá del año 2,000¹⁰⁴.

Se construyó una toma de agua en el embalse de Bao, durante la ejecución del proyecto Bao, para el suministro de agua potable aguas abajo. Es *una torre hexagonal de unos 53m* de altura, situada en la depresión No.2, en una esquina de la estructura de la toma para el desvío. Y de ella partían dos tuberías hacia la proyectada planta de filtración y de ahí a Santiago¹⁰⁵.

Tiene cuatro compuertas deslizantes laterales, que permitirían asegurar el suministro de agua durante las fluctuaciones del nivel del embalse por debajo de la cota 303.50. Y esta toma está conectada mediante una tubería de 30 pulgadas de diámetro a las válvulas de control ubicadas a la salida del túnel de desvío¹⁰⁶.

El costo de la toma fue incluido en los estimados de costos del proyecto Tavera-Bao¹⁰⁷.

Y se construyó una nueva **toma de agua** en el embalse de Bao, la definitiva, cuando se realizó el acueducto Cibao Central (1994), pues la instalada durante la construcción del proyecto Bao no se adecuaba a las necesidades del momento.

101 HARZA-IF/ II-2.

102 HARZA-MOM I/ I-II-3 HARZ-MOM III/ III-III-1.

103 RAMÍREZ-IIC- 11.

104 **La cota 315 es la elevación más baja del embalse útil de Bao**, considerando un proceso de sedimentación durante más de cien años. Por otra parte *el punto más elevado de toda el área a servir por este acueducto está por debajo de los 225m/snm*, por lo que era una ubicación ideal para resolver por gravedad el problema de suministro de agua a la ciudad de Santiago.

La toma que *se conectaría* oportunamente con la planta de tratamiento, que podía situarse en una llanura cercana, a unos 350m.

Ver el Ap. 4.31 “Acueducto de Santiago” (CDE, 1972).

105 **Torre de unos 53m de altura.** Se levanta desde la elevación 250.60 hasta la elevación 303.50.

106 HARZA-MOM II/ I-II-2.

107 Toma de agua que reemplaza a la toma existente para el suministro de agua. Y hubo que hacer instalaciones temporales para proporcionar un suministro continuo a Santiago durante la construcción del proyecto.

HARZA-ISF/ II-6 y HARZA-IF/III.28-29.

La nueva toma está situada al lado de la presa, en la cota 304.5m snm, cerca de la toma para el túnel de desvío. Y desde ella el agua es conducida al aereador por una tubería de unos 211m de longitud y 1.2m de diámetro, de acero y colocada en un túnel revestido con hormigón estructural¹⁰⁸.

La capacidad total del sistema combinado (gravedad + bombeo) del acueducto Cibao Central es de 5.5 a 6.0m³/s. Entre 3.5y 4.0m³/s son aportados por gravedad desde el embalse de Bao, por esta toma, y el resto desde el contraembalse de López por medio de bombeo.

CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO

CONTRATACIÓN DE LA OBRA

Se convocó un **concurso internacional** para la construcción del proyecto Tavera-Bao, ya que parte del financiamiento procedía del BID. Precalificaron doce empresas, de las que nueve sometieron ofertas a la licitación.

El comité de licitación recomendó a la CDE, administradora del proyecto, contratar la firma SOCOCO, S.A., de Costa Rica. La *firma del contrato* fue el 5 mayo de 1978 y días después se inició la construcción.

El proyecto Tavera-Bao se inauguró en 1984, construyéndose en 72 meses. Se inició en 1978 y concluyó en 1984.

La obra se contrató por un valor de \$30.9 M (RD\$9.9 M y US\$21 M)¹⁰⁹.

FECHAS IMPORTANTES DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA DE BAO¹¹⁰

Convocatoria del Concurso	
Precalificación	7 de septiembre de 1977
Licitación	9 de enero de 1978
Recomendación del Comité de Licitación	25 de enero de 1978
Firma del contrato	5 de mayo de 1978
Comienzo de la construcción	10 de mayo de 1978
Túnel de derivación y excavación: comienzo	31 de julio de 1978
Hormigonado: comienzo	15 de febrero de 1979
Desvío del río	29 de julio de 1979
Huracán David	30 de agosto de 1979
Núcleo de la presa: comienzo	23 de marzo de 1980
Presa completada	15 de agosto de 1981
Dique completado	15 de septiembre de 1981
Cierre de las compuertas del túnel de derivación	28 de febrero de 1983
Primer flujo por canal de interconexión	4 de junio de 1983
El embalse se dio como lleno	
Inauguración	

¹⁰⁸ El flujo de agua a los dos módulos del aereador está regulado por dos válvulas, tipo Riva-Calzone, las cuales mantienen un nivel constante de las aguas en las entradas de los módulos.

SWEIF/ 2.1-2 HARZA-IF/III-28.

¹⁰⁹ HARZA-IF/ III.3-4.

¹¹⁰ HARZA-IF/ III.3-5.

CONSTRUCCIÓN

El proyecto de Bao fue construido por un **contratista general, SOCOCO de Costa Rica**, quien subcontrató la ejecución de varias partes del mismo a otras seis empresas (tres de ellas dominicanas: Batista y Asocs., Metaldom y Cemento Cibao)¹¹¹.

El proyecto fue **ejecutado por la CDE**, administradora de la construcción del proyecto Tavera, a través de su Dirección de Desarrollo Hidroeléctrico (DDH). Y la inspección y supervisión de las obras fue llevada a cabo con el asesoramiento de la firma Harza, de Chicago¹¹².

La obra sufrió varios *retrasos* debido a diversos factores. Al principio del proyecto la importación de equipos y suministros se retrasó durante semanas en las aduanas, a pesar de estar exonerados. Y no se facilitó energía eléctrica al proyecto, como se había acordado, hasta varios meses después que se inició el mismo.

Por su parte, el huracán David pasó sobre la cuenca de Bao retrasando varias semanas la construcción del proyecto por pérdidas y daños de trabajos ya completados. Y dificultó seriamente la obtención de combustibles, cemento y energía eléctrica durante varios meses después del huracán. Y hubo zonas de excavación difícil y hormigonado no previsto para la cimentación de la presa¹¹³.

COSTO DEL PROYECTO

El **costo total del proyecto Bao fue de \$66M, según el “Informe Final de la Construcción del Proyecto” de Harza (1982)**¹¹⁴.

Si bien el **costo final de la construcción, propiamente dicha, fue de \$40M**. De ellos, \$31.3M por la ejecución del *contrato general*, y el resto por escalación de precios, modificaciones realizadas y otras causas.

La *escalación de los precios* (\$7.9M) supuso un 25 % respecto de los precios del contrato del original Y los *trabajos extraordinarios*, fuera del mismo, unos RD\$627.000.00¹¹⁵.

Según un estimado hecho durante la construcción (1979) entre otros costos del proyecto, además de la construcción propiamente dicha, estaban la compra de terreno del embalse (\$6.5M), el reasentamiento de 500 familias que vivían en ellos (\$10.0M), los servicios de ingeniería y administración (\$6.4M) y los gastos financieros durante la construcción (\$18M)¹¹⁶.

Incluye sólo costos de construcción y no otros gastos como adquisición de tierras y costos de la CDE que se cobraron al proyecto antes de y durante construcción¹¹⁷.

111 HARZA-IF/ III/1-3.

112 RODRÍGUEZ-2/ 85.

113 El huracán David pasó por encima de la parte superior de la cuenca del Bao el 31 de agosto de 1979. Y todos los trabajos realizados en la fundación de la presa, los rellenos y las excavaciones quedaron deshechos completamente. Hubo pérdidas y daños de equipos, materiales y en el sistema de combustible. Dada la dificultad de su reposición, apenas se trabajó en la presa hasta 4-5 semanas después del huracán. Y sólo varias semanas después se recuperó el ritmo normal en la construcción de la presa. La central hidroeléctrica de Tavera estuvo sin operar hasta casi un año después. HARZA-IF/ III-6 y 37.

HARZA-IF/ IV-4.

114 **Costo total del Proyecto: \$66M.** No se pudo conseguir el desglose del mismo.

115 **Costo final de la construcción, propiamente dicha: \$40M.** No incluye los costos de compra del terreno para el embalse, reasentamiento de sus moradores. Ni otros gastos necesarios para la implementación del proyecto como los gastos previstos para su financiamiento. El costo final certificarlo por Harza es de “la construcción en cuanto tal”, que fue lo que se le contrató supervisar.

El *costo final del contrato general* fue de \$31.3M vs \$31.2M de la oferta de la firma ganadora y \$41.3M del estimado del ingeniero diseñador.

Los **trabajos extraordinarios** más importantes fueron el cambio del tamaño de las válvulas de salida del canal de desvío, la construcción de una altura adicional en la sección de relleno común, aguas arriba en la presa, y un canal para controlar los escurrimientos superficiales que dañaban dicho relleno.

HARZA-IF/ IV.1-3 y Exhibit IV-1.

116 RODRÍGUEZ-2/ 81-83.

117 HARZA-IF/ IV-2.

FINANCIAMIENTO

Los **\$66M** (1982) que costó el proyecto Tavera-Bao fueron financiados con un préstamo del *BID* (US\$36.7M), otro de la *OPEP* (US\$1.0M) y el aporte del *Gobierno dominicano* (RD\$28.3M).

- **Préstamo del BID** (US\$36.7M a 40 años de amortización). Se firmó en octubre de 1974, empezando su ejecución. Se hizo al GORD, como prestatario, para que él se lo prestara a su vez a la CDE. Su tasa de interés fue de 1.0% durante los diez primeros años, con el primer pago a los seis meses de la firma del contrato, y un 2.0% durante los treinta años restantes¹¹⁸.

Préstamo que la CDE debería amortizar al GORD a un 8% de interés anual, durante un período de 20 años, de acuerdo al convenio con el BID. Período que comenzaba al final de un período de gracia inicial de cinco años, sin compromiso de recargo.

- **Préstamo de la OPEP** (US\$1.0M, a 15 años), sin intereses, y con cinco años de gracia¹¹⁹.
- **Aporte del Gobierno dominicano** (RD\$28.3M).

El **financiamiento previsto en 1972** para construir el proyecto, según el estudio de factibilidad de la CDE, era de unos US\$30.1M. De ellos se esperaba obtener US\$28.4M de fuentes internacionales, del *BID* (80 %) y el *AID* (20%). además de la contrapartida del GORD (RD\$1.7M), como en la 1ª Etapa del Complejo Tavera¹²⁰.

JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

El **estudio de factibilidad Tavera-Bao de la CDE (1972)** es el único estudio realizado sobre dicho proyecto que incorpora un capítulo sobre su “factibilidad económica y financiera” y una “evaluación económica” del mismo¹²¹.

Dicho estudio encontró suficientemente justificado económicamente el proyecto, por las siguientes razones:

- Se triplica la producción de energía hidroeléctrica, usando el mismo equipo electromecánico instalado en la central de Tavera.
- Los ingresos provenientes de aumentar en 193 M kwh anuales la producción de energía, cubrían perfectamente los costos de operación, mantenimiento y amortización de capital e intereses de las inversiones a utilizarse en la construcción del proyecto Bao, sin considerar ingresos que se originarían del distrito agrícola en proyecto.

118 El préstamo del BID (No. 408/SF-DR) se hizo a cargo del Fondo Especial del BID. De los US\$36.7 M prestados, un 80% fue en dólares. Y el resto en pesos dominicanos. Y del total, un 80% fue para obras civiles. La tasa de recargo por compromiso de 0.5% anual, para los fondos del préstamo no usados en los plazos fijados.

HARZA-ISF/ IV-1 y HARZA-IF/ III. 5-6.

119 RODRÍGUEZ-2/ 81.

120 **Financiamiento 1972: US\$28.4 M.** De ellos, US\$22.9 M se esperaban del BID: 1) a 40 años de plazo, con 10 años de gracia, en 60 cuotas semestrales; 2) a un interés de 1% durante los primeros 10 años, realizándose el pago a los seis meses de la firma del contrato. Y 1.5% en los restantes 30 años, juntamente con las amortizaciones del capital; 3) con cargo por servicios del 0.75% sobre saldo insoluto; y 4) una comisión de compromiso del 0.50% sobre el saldo no desembolsado del préstamo a partir de los 60 días de la firma del compromiso.

Y se proyecta obtener los restantes US\$5,500,000 del AID y otras fuentes: 1) a 40 años de plazo, con 10 años de gracia, en 60 cuotas semestrales, y 2) intereses del 2% durante los primeros 10 años y 2.5% los 30 años restantes.

121 **“Evaluación Económica del Proyecto Tavera-Bao”.** Su autor fue Robert L. Berger, economista retirado del Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, USA. El estudio de “factibilidad económica y financiera” del proyecto está firmado por la CDE.

- El proyecto conjunto Tavera-Bao garantizaría el *riego eficiente de un distrito agrícola de más de 40 mil hectáreas*.
- *Haciendo innecesaria la construcción del contraembalse de López*, en esta etapa, para la regulación de las aguas a utilizarse para riego.
- *La relación costo-beneficio* para el proyecto es de 2.85 a 1.00, calculados al valor presente al 6% y 1.65 a 1.00 calculados al 12%.
- Y la *tasa interna de retorno* muestra una rentabilidad de 19.69% en el punto en que se igualan los beneficios y los costos. Índices que superan las metas de inversión existentes en el mercado, que es de 12% anual.
- *Otros beneficios*, no menos importantes que la producción de energía y el riego, y que no han sido cuantificados en el análisis económico del proyecto, se refieren al suministro de “agua al acueducto Cibao Central”, el “ahorro de divisas”, que de otro modo habría que erogar para importar combustible para las termoeléctricas, y la explotación turística del área¹²².

Los **estudios de Harza** (1976-1982) *no incluyeron una nueva justificación económica* del proyecto Bao, que se daba por supuesta, y cuya construcción estaba ya decidida. Lo que se pidió a Harza fue el diseño final del proyecto, la actualización de sus costos y la supervisión de su construcción.

RENTABILIDAD HISTÓRICA Y AMORTIZACIÓN DEL PROYECTO

Es **aceptada por todos la rentabilidad del proyecto Bao**, por su gran aporte a la generación eléctrica, la producción agrícola y al acueducto Cibao Central.

Sin embargo **no hay informes ni datos sobre el grado de amortización del mismo por sus beneficiarios directos**. Se desconocen, en la mayoría de los casos, los criterios para pagar el agua utilizada consumida, su consumo, el pago real y el debido, a lo largo de la historia del proyecto por parte sus principales beneficiarios, la CDE, el distrito de riego del Yaque del Norte y el ACC.

La amortización del proyecto corre básicamente a cargo del *Estado*, y no de sus beneficiarios directos, los usuarios de la CDE, el riego y los del ACC, contra lo requerido por el *BID* al hacer el préstamo.

Amortización que no se esperaba fuera total, sino subsidiada en casos concretos. Así, en el caso del *riego* se había recomendado que su tarifa cubriera únicamente su operación y mantenimiento. Y sin embargo, los datos de los últimos años indican que lo que se facturaba no era toda la O&M, sino solo un porcentaje del mismo. Y, sin embargo, lo cobrado a los regantes solo cubría una pequeña parte del mismo.

De la CDE se desconoce la tarifa actual por agua utilizada para generación hidroeléctrica, así como su relación con las otras fuentes de energía, y la evolución de todo ello a lo largo de la historia del proyecto.

Y con el ACC, que empezó a funcionar como tal en 1995, ocurre básicamente lo mismo.

Por lo demás el proyecto **no se ha confiado a una autoridad única, con todos los poderes y responsabilidades, incluyendo el de la autosuficiencia económica** dentro de los criterios que disponga la ley, que supone un proyecto de aprovechamiento múltiple. Sino que se prefirió fragmentar su operación, sin que nadie fuera el responsable último del mismo. Y subsidiar sus actividades en el día a día, sin un criterio fijo técnico-económico, sus actividades y no exigir cierta autosuficiencia económica, a pesar de que sus servicios son rentables para sus beneficiarios.

122 CDE IB/ 18-19 y CDE IM/24.

CUADRO 5.12
DISTRIBUCIÓN DE LOS COSTOS DE “CONSTRUCCIÓN” DEL
COMPLEJO DE TAVERA-BAO PARA ENERGÍA Y RIEGO
(según el “Estudio de Factibilidad Tavera-Bao” de la CDE, 1972)¹²³

Proyecto	Energía		Riego		Total	
	Monto (M\$)	%	Monto (M\$)	%	Monto (M\$)	%
TAVERA	26.7	61	16.8	39	43.5	100
BAO	16.6	55	13.5	45	30.1	100
Total	43.3	---	30.3	---	73.6	---

123 **CDE IM/30-31**. El cuadro original desglosa los costos directos, indirectos y los intereses durante la construcción, así como el estimado adicional de la construcción de las dos fases del distrito de riego.

APÉNDICE 5.1

ORIGEN DEL PROYECTO DE BAO

ESTUDIOS DE MENDAR

En 1954 el Gobierno dominicano, deseando desarrollar los recursos hidroeléctricos que el país necesitaba para su desarrollo, contrató a la firma dominico-española Mendoza y Armenteros (Mendar) para realizar un informe previo sobre los mismos.

Informe que *estudió la cuenca del Yaque del Norte, la del Nizao y la del Yaque del Sur*.

A la luz de sus conclusiones se le encargó el **estudio hidráulico del río Yaque del Norte y sus afluentes Mao, Bao y Jimenoa**, desde su nacimiento hasta su desembocadura estudiando las posibilidades de su aprovechamiento hidroeléctrico y de riego, identificando sitios para embalses de regulación y saltos de agua, y las obras necesarias para ello, en dichas cuencas¹.

Mendar recomendó en su estudio (1956) el sitio de Tavera como el principal sitio de presa para regular los caudales del Yaque del Norte, y asegurar el agua a las tierras entonces regadas en el valle del Yaque del Norte, pudiendo aumentar el área riego hasta 40,000ha².

Parte de este informe lo constituye el estudio hidráulico del río Bao para el que se hizo un *levantamiento topográfico de 90km* del río, a fin de identificar los sitios donde se pudieran construir embalses y saltos hidroeléctricos³.

El estudio fue a *nivel de prefactibilidad*, clarificando las características y costos de los aprovechamientos posibles. Estudio que debería profundizarse en etapas posteriores en los tramos identificados como más recomendables para su aprovechamiento hidráulico.

Y los *sitios de embalse identificados* en la cuenca del Bao fueron: Alto Bao, Sabaneta, Jánico, Bao y Jagua. Y “fuera de la cuenca de Bao, pero relacionados con ella”, para su mejor aprovechamiento, los de Manabao, Tavera y Angostura⁴.

1 Simultáneamente, se firmó el **contrato** para la realización de los “*Proyectos de construcción de las presas de embalse y aprovechamientos hidroeléctricos de Valdesia, en el río Nizao, y de Sabana Yegua en el río Yaque del Sur*”, el 14 de octubre de 1954. **MENDAR-ehm/ I.2.**

2 **Presa de Tavera.** En 1958 se celebró concurso para su diseño definitivo, siendo ganarlo por Concretera Dominicana C. por A. y Mendoza-Armenteros, que lo entregaron en 1959. La inestabilidad política por la que atravesó el país en los años siguientes, pospuso la realización del proyecto y ocasionó un nuevo diseño el mismo. **MENDAR-ehm/ I.I-2.**

3 **Levantamiento topográfico del río Bao.** Planos de *perfil longitudinal del río*, desde su nacimiento hasta su desembocadura, 90km (6 hojas a escala 1:10,000 recogiendo 15km c/u). Y *planos topográficos* de las márgenes del río. 19 hojas (1:2,000). Y otra serie de planos a escala 1:10,000 y 1:50,000. En el “*Estudio hidráulico del río Yaque del Norte y sus afluentes Jimenoa, Bao y Mao*” (1956) se recogen los planos de los 600km de dichos ríos, nivelados y levantados topográficamente. **MENDAR-ehm/ I.8.**

4 **Fuera de la cuenca del Bao.** *Manabao* está en el Yaque del Norte, pero una de las alternativas previstas para el aprovechamiento hidroeléctrico de las aguas del alto Yaque del Norte consistía en trasvasar las aguas recogidas en el embalse de Manabao al río Jagua, y de éste, tal vez, al Bao.

Tavera también está en el Yaque del Norte. Pero, una de las tres alternativas para su aprovechamiento hidroeléctrico, condicionadas a la posibilidad o no de la construcción del embalse de Angostura, implicaba al Bao.

Angostura también está en el Yaque del Norte. Pero, su aprovechamiento tiene relación con el río Bao, estando situada aguas abajo de la confluencia de ambos ríos.

Por lo demás se reafirmó que dadas las características topográficas e hidrológicas del río Bao y sus afluentes *su aprovechamiento será principalmente hidroeléctrico*, quedando su aporte de riego para aguas abajo de su cuenca.

El río Bao y el “diseño definitivo” de la presa de Tavera. Mendar, en su “Proyecto Definitivo del Aprovechamiento Múltiple del río Yaque del Norte, Sitio de Tavera”,

- presentó *cuatro alternativas para el aprovechamiento hidroeléctrico de las aguas del embalse de Tavera*.
- *Recomendó la que implicaba al río Bao* (Alternativa 4). En ella, la central hidroeléctrica del embalse de Tavera se ubicaba en la margen derecha del río Bao, cerca del arroyo Flaire, a la intemperie. Aprovechaba la diferencia de altura entre Tavera y el río Bao, consiguiendo una mayor caída neta (92m vs 33m de la alternativa mejor), produciendo unos 219M Kwh. anuales (127M Kwh firmes), con un caudal total aprovechable de hasta 90m³/s. Y para ello se necesitaría construir un túnel de 4.6km.
- La central hidroeléctrica de Tavera, en el arroyo Flaire, podría turbinar las aguas del río Bao y sus afluentes, en el futuro, mediante obras complementarias de derivación y conducción⁵.
- Propone la construcción de otra presa aguas abajo de la confluencia de los ríos Jagua Guanajuma, y un azud de desvío sobre el río Bao, para incluir a los tributarios al sistema general, a través de unos 6.0km de túneles sin contar el túnel de desvío. El caudal del río Bao se conduciría a través de un túnel de unos 400m al Jagua-Guanajuma. Y un túnel de unos 1,500m que desembocaría en el túnel principal de Tavera, establecería la unión de ambos sistemas.
- La construcción simultánea de un embalse en el río Bao, con trasvase al de Tavera, y un túnel desde el embalse de Bao hasta el río Yaque del Norte, cerca de Angosgostura, optimizaría la central hidroeléctrica de Tavera.
- Y preveía un contraembalse⁶.
- Pero dado que los términos de referencia restringían la posibilidad de un estudio de la alternativa 4 (aprovechamiento general de Tavera-Bao), el estudio
 - se concentró en la alternativa 1, que parecía la mejor si se prescindía de las aguas del río Bao.
 - y recomendó hacer un estudio de la alternativa 4 antes de emprender la construcción del aprovechamiento según la alternativa 1, a fin de precisar el presupuesto de sus dos etapas y evaluar su posible adopción⁷.

LOS ESTUDIOS DE LA MONTREAL Y DE LA EBASCO

El estudio de *La Montreal Engineering Co.* (1957), se limitó exclusivamente al proyecto de Tavera⁸. Al igual que el de la *Ebasco*, según se nos informó⁹.

5 **Llevar las aguas del río Bao al embalse de Tavera** para su utilización en la *central al pie de la presa* (solución 1), era posible pero *no compensaba* las obras necesarias. Para ello tendrían un costo superior a los beneficios de las mismas, y el rendimiento energético era muy inferior, al serlo la altura de salto.

6 **LAHMEYER-ta / F – 3.**

7 **Mendar⁷: 1ª Alternativa para Tavera (1959).** Presa de hormigón tipo de contrafuertes. Central hidroeléctrica para energía pico, a la intemperie, cerca de la presa, con una capacidad de unos 43 Mw, y una producción media anual de unos 95.5 Gwh. Mejoraría los caudales de durante los meses de sequía y preveía un contraembalse.

MENDAR-tam/ X_5- 6.

8 **MONTREAL ENGINEERING CO. y THE FOUNDATION CO. OF CANADA** - “La investigación en el terreno del proyecto Tavera de aprovechamiento múltiple”. (1957). *Propuso* este estudio la construcción de una presa de tierra, creando un embalse útil de unos 100M m3, mejorando los caudales en tiempos de sequía. Una central hidroeléctrica para energía pico cerca de la presa, con una capacidad de 40 Mw y una producción anual de unos 89.0 Gwh. Y preveía un contraembalse.

9 **EBASCO SERVICES Inc. - Feasibility Study Tavera Multipurpose Project. (1957).**

No tuvimos acceso a este estudio, ni a ningún otro informe que hiciera referencia detallada del mismo.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

LOS ESTUDIOS DE LA VATTENBYGGNADSBYRÅN (VBB)

La firma sueca **Vattenbyggnadsbyrå (VBB)**¹⁰, (1961-1963), se decidió por la “solución 4”, Mendar, pero propone que

- la central hidroeléctrica fuera para producir energía base, y no pico, al menos en una primera etapa, considerando que “el aprovechamiento del río Yaque del Norte se destinaba prioritariamente al riego”. Por lo que no consideraba la construcción de un contraembalse.

CUADRO AP 5.1.1
ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DEL YAQUE DEL NORTE
Y SUS TRIBUTARIOS (POR MONTREAL, MENDAR Y VBB)¹¹

Compañía	Tipo de Presa	Objeto	Sitio y tipo de planta	Cap. Instalada (Mw)	Prod. Anual de Energía (Gwh)	Caída Neta (m)	Nivel M° de oper. (m snm)	Nivel m° de oper. (m snm)	Embalse útil (MM³)
Montreal	de tierra	Riego, energía pico	Cerca de presa, a la intemperie	40.0	89	34-66	327.5	302.5	100
Mendar <i>Solución 1ª</i> <i>Solución 4ª</i>	de contra-fuerzas	Riego, energía pico	A. Flaire ¹¹ a la intemperie	42.7 65.5	96.5 137.0	34-66 64-98	322.0 322.0	290.0 290.0	115 115
VBB	de tierra	Riego, energía base		28.0	146.0	90-105	322.0	290.0	110

- Central sería de 28Mw de capacidad**, en base a los caudales de un año normal, produciendo unos 146 Gwh anuales, como promedio. Y la casa de máquinas estaría instalada en una planta de subterránea cerca de la presa de Tavera, en la margen izquierda del río Yaque del Norte¹².
- la *conexión de la central hidroeléctrica con el río Bao, cerca del arroyo Flaire*, sería por medio de un túnel de salida de unos 4,200m de longitud. Y proponía una presa de tierra, para Tavera.

Respecto a **futuras ampliaciones** del sistema, incluyendo el aprovechamiento de los ríos tributarios, la VBB presentaba dos posibilidades:

- Presa aguas abajo de la confluencia de los ríos Jaguay Guanajuma, “conectando su embalse con el de Tavera”, por un túnel de unos 2,000m. Y con una “galería de traslado del río Bao al río Jagua”.*

10 **VATTENBYGGNADSBYRÅN (VBB)** - Memoria sobre el aprovechamiento múltiple del río Yaque del Norte, sitio de Tavera. 1961.

VATTENBYGGNADSBYRÅN (VBB) - Aprovechamiento de la energía hidroeléctrica 1963.

11 **Comparación económica de los sitios de ubicación de la central hidroeléctrica, cerca de la presa y cerca del arroyo Flaire.** Económicamente resultó, que la relación costo-beneficio para ambas plantas es casi igual, con una pequeña ventaja para la ubicación cerca del arroyo Flaire.

La ubicación en arroyo Flaire permite obtener un aumento de un 40% de capacidad (kw) y un aumento de energía eléctrica (kw/h), con un caudal de agua igual, dada su caída neta mayor. Lo que es muy importante para el abastecimiento de energía eléctrica de la RD, por lo que Lahmeyer también se decidió a favor de la ubicación de la central hidroeléctrica cerca del arroyo Flaire.

La ubicación de la planta hidroeléctrica de la presa de Tavera se preveía al final de un túnel de 4,250m de longitud, situado cerca del arroyo Flaire, sobre la margen del río Bao. Tendría que ser una *planta subterránea*, ya que no había suficiente espacio para una planta a la intemperie. **LAHMEYER-U / F - 7.**

12 **Planta subterránea, o de caverna.** Para la ubicación de la central hidroeléctrica de la presa de Tavera se presentaban dos posibles alternativas: al lado de la presa, o al final de un túnel de 4km, cerca del arroyo Flaire, sobre la margen del río Bao. La planta hidroeléctrica cerca de la presa tendría que ser una planta de caverna, ya que no había suficiente espacio para una planta a la intemperie.

- *Enlace, por túneles, de los tres ríos tributarios* (Bao, Jagua y Guanajuma) con el río Yaque del Norte. Túneles que tendrían una extensión total de 10km.

En las dos alternativas una única central hidroeléctrica subterránea tendría todos los equipos eléctricos y mecánicos¹³.

LOS ESTUDIOS DE LAHMEYER Y EL “COMPLEJO DE TAVERA” (TAVERA - JAGUA/BAO - LÓPEZ)¹⁴

El **complejo de Tavera** fue concebido para el aprovechamiento total de la cuenca alta del río Yaque del Norte y de sus amientes los ríos Bao, Jagua y Guanajuma, en varias etapas. Y la secuencia de construcción recomendada por Lahmeyer fue la siguiente:

- 1ª Etapa: *Proyecto de Tovera*, con dos unidades de 40Mw c/u (80Mw de capacidad instalada total).
- 2ª Etapa: *Contraembalse de López*, con una unidad de 7/8.7Mw y
- 3ª Etapa: *Presa Jagua/Bao* con dos unidades de 25.5/27.5Mw c/u (51/55Mw de capacidad a instalarse)¹⁵.

El **proyecto de Tavera (1ª Etapa)** regulaba las aguas de la cuenca del Yaque del Norte, *antes de su confluencia con el río Bao*.

Y el proyecto se diseñó para usar las aguas reguladas fundamentalmente *para riego, afectando la producción anual de energía hidroeléctrica*. Producción que se reduciría en un 54%, de ampliarse el área de riego a 40,000ha, haciendo que la operación de la central hidroeléctrica de Tavera no fuera rentable, en base a sólo su embalse¹⁶.

CUADRO AP 5.1.2
OPERACIÓN DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA DE TAVERA
SOLO CON EL EMBALSE TAVERA

	Producción Anual	
	GwH	(%)
Sin riego (hipotético)	126	100
Con riego:		
20,000 ha (actual)	112	89
27,000 ha (Fase 1)	103	82
40,000 ha (Fase 2)	68	54

Por ello, se propuso la construcción del contraembalse de López como 2ª Etapa, aguas abajo de Tavera, para *regular para riego las aguas turbinadas, mejorando la producción hidroeléctrica*, al operar su central hidroeléctrica con mayor libertad y cantidad de agua.

El **estudio de factibilidad de Tavera de Lahmeyer** (1ª Etapa del complejo de Tavera), se basó, como en el plan general siguiente:

- *El Yaque del Norte* se regulaba en Tavera.
- *El Bao y sus tributarios* se regularían por una presa del río Bao.

13 LAHMEYER-ta / F - 4.

14 Para más información de este tema ver el Ap. 5.4 Presa de Jagua vs Presa de Bao (Lahmeyer, 1967) y complementariamente el Ap. 5.5 El río Jagua en los Estudios de la Sogreah (1968).

15 CDEI-H/22.

16 CDEI-H/2.

- El caudal de los embalses de Tavera y Bao se conducirían por *dos túneles de presión independientes a dos partes de la planta hidroeléctrica de Tavera*, situada cerca del arroyo Flaire¹⁷.
- *Contraembalse* en las cercanías del pueblo de López.

Y Lahmeyer recomendó, después de comparar las propuestas anteriores con sus investigaciones, construir una presa sobre el río Bao en lugar de la presa sobre el río Jagua a unos 700m aguas abajo de la confluencia de ambos ríos, y reuniendo el agua de todos los tributarios “sin tener que hacer ningún enlace entre los ríos Bao y Jagua.

Requeriría una inversión mayor que la otra presa alternativa, dada su situación topográfica, pero formaría un embalse mucho mayor, incrementando más el caudal regulado y los beneficios económicos derivables del sistema.

Por lo que *el estudio de factibilidad de Tavera se basó en esta solución*.

Y recomendó *hacer* la descarga de las aguas del embalse de Bao a su propia central hidroeléctrica por un túnel individual, que era la alternativa más económica, *si las obras de Bao se concluían 2.5 años después de la terminación de Tavera*. Central que se recomendó ubicar también en el arroyo Flaire y que, de ser así, se fusionaran las dos centrales¹⁸.

EL ESTUDIO DE LAHMEYER JAGUA Y BAO

Lahmeyer hizo un estudio comparativo de las presas de Jagua vs Bao. En este estudio de prefactibilidad, consideró diez alternativas, de las *cuales dos fueron seleccionadas* como las más interesantes¹⁹:

- 1) *Presa en el río Bao*, con un túnel de conducción a una nueva planta hidroeléctrica, a instalarse contigua a la de Tavera. El nivel máximo de las aguas embalsadas sería en la cota 325m snm (Alternativa B21).
- 2) *Presa en el río Jagua*, también con un túnel de conducción a una planta hidroeléctrica, a instalarse contigua a la de Tavera. El nivel máximo del embalse estaría en la cota 335m snm. Y el río Bao sería conducido al embalse de Jagua mediante una presa en el Bao y un túnel de conducción (Alternativa J21)²⁰.

17 **Dos túneles de presión independientes a dos partes de la planta hidroeléctrica de Tavera.** *Así los embalses de Tavera y Bao podrían operarse independientemente* para riego y generación de energía, con flexibilidad de funcionamiento. *De paralizarse una de las dos centrales*, la otra continuaría operando. Y podrían usarse conjuntamente los edificios de administración, grúas y otras facilidades, lo que facilita una mejor organización, operación y economía. LAHMEYER-ta IT -10.

18 **Descarga de las aguas del embalse de Bao: Alternativas:** 1) al embalse de Tavera, 2) conducida al túnel de presión de la planta hidroeléctrica cerca del arroyo Flaire, o 3) ser aprovechada en su propia central hidroeléctrica.

LAHMEYER-ta / F- 8 y 9.

NOTA: La versión impresa del “Estudio de Factibilidad del Proyecto Múltiple de Tavera”, al discutir las ventajas y desventajas de la presa de Bao vs la presa de Jagua, confunde repetidamente dichos nombres, estando corregidos las más de las veces a mano en el ejemplar al que tuvimos acceso. En caso de duda nos atuvimos al criterio de ingenieros que colaboraron en dicho estudio.

19 **LAHMEYER - Proyecto múltiple Río Jagua / Río Bao: Estudio de Pre-inversión.** INDRHI. Frankfurt/ Main (Alemania). Dic 1967.

Este estudio fue el primer y único estudio de pre-inversión sobre el aprovechamiento de los ríos Jagua/Bao. La mayor parte de los estudios anteriores para el aprovechamiento del río Bao, con sus tributarios los ríos Jagua y Guanajuma, sólo han indicado soluciones y concepciones globales, en general, pero sin informaciones detalladas de la factibilidad técnica y económica de esas soluciones.

20 **CDEI-H/4.**

Lahmeyer **recomendó construir la presa en el río Jagua,**

- una presa de tierra en el Jagua, de 88m de altura, con una inversión de RD\$9.1 M menos que la de Bao, si bien ésta presentaba una relación beneficio/costo superior²¹.
- una presa adicional de derivación en el río Bao, para incorporar sus aguas al embalse Jagua, por un túnel, y desde aquí enviar el agua del embalse a dos turbinas instaladas en una central hidroeléctrica, contigua a la de Tavera, por un túnel de 3.2km de longitud.

Las unidades hidroeléctricas de Tavera y Jagua/Bao, serían para energía pico, con una capacidad total de 135Mw.

Y el *contraembalse de López* para regular los caudales turbinados en Tavera, según las necesidades de riego del distrito agrícola del proyecto²².

**CUADRO AP 5.1.3
CARACTERÍSTICAS DE LAS ALTERNATIVAS BAO Y JAGUA**

CARACTERÍSTICAS	Alternativa BAO (B21)	Alternativa JAGUA (J21)
Nivel M° de agua en el embalse	325m	325m
Volumen total del embalse	260 Mm ³	145 Mm ³
Altura de la presa	97m	88m
Longitud del túnel de desvío	380m	420m
Capacidad del vertedero	8,600m ³ /s	5,000m ³ /s
Longitud del túnel de conexión	no necesario	600m
Longitud del túnel de conducción	1,920m	3,200m
Longitud del túnel de presión	280m	280m
Capacidad de la planta	2 x 27.5 Mw	2 x 25.5 Mw
Volumen de los diques auxiliares	525,000m ³	310,000m ³
Longitud de pantallas de inyección	1,460m	800m
Costos directos de construcción	27.61MS	20.85MS
Producción energía primaria	110.0 Gwb	94 Gwb
Producción energía secundaria	25.3 GWH	36.2 GWH
Producción total de energía	135.3 GWH	130.2 GWH
Factor de beneficio/costo total	1.89	1.79
Factor B/C para el sistema H.E.	1.99	1.52

21 **Presa de Jagua, con una inversión total de RD\$9.1 M menos que la de Bao:** Jagua RD\$27.97 M vs Bao RD\$37.04 M. CDE TBJ Anexo H-3.

Lahmeyer recomendó la presa en Jagua vs Bao. Según el estudio de la CDE (1972) parece que Lahmeyer estimó los precios unitarios de construcción según los promedios internacionales de 1967, y que desconocía los precios ofrecidos por Emkay para el proyecto Tavera (1968). De conocerlos, Lahmeyer llegaría a conclusiones diferentes en la evaluación económica de las alternativas de Jagua y Bao. Por lo demás, el costo mínimo de la construcción del contraembalse de López ascendía a unos \$9.7 M, siendo considerado muy por debajo de su costo real.

Con las datos actualizados, la diferencia de RD\$3.5M no justificaba descartar la presa en el río Bao, una solución técnica y económica mucho más favorable según el estudio de factibilidad de la CDE. CDE 1-H/5.

22 **Contraembalse de López.** Las centrales hidroeléctricas de Tavera 1ª Etapa, y de las alternativas de Jagua y Bao para la 2ª Etapa, son para la producción de energía pico, con turbinas de gran capacidad para operar con grandes volúmenes de agua, durante 4 o 5 horas diarias, que no pueden ser utilizados adecuadamente para riego.

Por este motivo, Lahmeyer recomendó el contraembalse de López para regular las aguas turbinadas y suministrar permanentemente un volumen de agua adecuado para riego, que sería turbinado produciendo energía base a través de una unidad hidroeléctrica con capacidad de 7 a 9 Mw, instalada al pie del contraembalse. CDE I-H 7 CDEIU-7/3 y CDE I-J/1.

LA NUEVA CONCEPCIÓN DEL PROYECTO BAO DE LA CDE

La CDE, al ser designada administradora de la construcción del Proyecto Tavera, preparó un **Estudio de Factibilidad Tavera-Bao (1972)**, a fin de determinar la solución más favorable técnica y económicamente *para la 2a Etapa del Complejo de Tavera*, a la luz de nuevas ideas sobre el mismo²³.

Su estudio propuso **una nueva concepción**, no mencionada en ninguno de los informes anteriores, basada en:

- una *presa en el río Bao*, con sus estructuras auxiliares.
- **un canal de interconexión entre los embalses de Tavera y de Bao**,

Lo que permitía

- formar un “*gran embalse*” (45M m³ de capacidad), un 65% mayor que el de Tavera. Y con un caudal regulado de unos 38.00m³/s, aumentando casi en un 100% los caudales del embalse de Tavera,
 - reduciendo las variaciones del nivel de agua,
 - aumentando la altura de carga para la generación de energía, y
 - teniendo una mayor capacidad de compensación, regulación de las crecientes y de los caudales a utilizarse para riego y otros servicios del proyecto²⁴.
- *garantizar el riego de la zona total del proyecto* (40,000 ha) “sin la utilización de un contraembalse”.
- *triplicar la producción de energía eléctrica anual*, al mejorar el rendimiento de las unidades hidroeléctricas (80Mw) existentes con el mayor caudal de agua disponible, permitiendo garantizar su operación con una eficiencia de un 90% promedio.
- *no impide la instalación de nuevas unidades hidroeléctricas* en el futuro, si se desea aumentar la producción eléctrica pico²⁵.
- *utiliza todas las estructuras hidráulicas e hidroeléctricas de Tavera* (vertedero, túnel de riego, unidades generadoras y sistema completo de la central hidroeléctrica), sin inversión adicional. Lo que supone una economía importante al construirlo y operarlo.
- *haría la regulación completa, y definitiva, de los recursos hidráulicos aguas arriba de las presas de Tavera y Bao*.
- *aseguraría agua abundante para el acueducto de Santiago y sus alrededores*, siendo la solución definitiva para los mismos. Y por ello se recomendó que al construir el proyecto de Bao se instale una bocatoma y la tubería inicial para conectarla en un futuro próximo con dicho acueducto²⁶.

23 Ver CDEI-H.

24 **El propósito principal del proyecto de Bao** es encauzar las aguas del río del mismo nombre a través del canal de interconexión hacia el embalse de Tavera, para *crear un gran embalse que optimice el potencial hidráulico de ambas cuencas*. Y así aumentar, entre otras cosas la producción de energía hidroeléctrica en la central de Tavera, que tiene una capacidad instalada de 80Mw.

25 **No impide que en el futuro, si se desea, pueda aumentarse la capacidad de producción pico** de la CDE. *Los costos estimados para este proyecto* eran de RD\$47.1M (1972). Inversión muy elevada para aumentar en solo 80Mw la potencia instalada (incluyendo los 10Mw base de la unidad hidroeléctrica del contraembalse), y añadir unos 50Mkw horas anuales a la producción nacional.

Por eso el estudio de la CDE consideró que una inversión de RD\$47.1M podría ser utilizada con mayor provecho en otro proyecto de mayor beneficio, por lo que *no se recomendó la ampliación de la producción pico en Tavera-Bao*.

Con todo, *la presa de Bao está provista de una “toma de energía” adicional* que permite la instalación de una central hidroeléctrica con una capacidad instalada de 100Mw, en el futuro, para ser utilizada en horas de máxima demanda. **CDE-COM/1 CDE I-B/ 4-7 y IH/27.**

26 **CDE I-A/ 6-8.**

- *facilitaría conseguir el financiamiento para el distrito de riego del Yaque del Norte, al garantizar el caudal continuo de agua requerido por el BIRF para concederlo. Lo que añadía un motivo de urgencia más para la construcción del proyecto de Bao*²⁷.

Por otra parte, para la CDE, el “Estudio de falibilidad del contraembalse de López”, preparado por Lahmeyer, permite llegar a las siguientes conclusiones²⁸:

- El aprovechamiento del contraembalse fue concebido en función de que operaran todas las plantas hidroeléctricas proyectadas para Tavera y Jagua/Bao (135Mw), cuatro o cinco horas diarias.
Pero en la realidad (1972) sólo operaban las plantas instaladas en Tavera (80Mw, con unos 90m³/s promedio de agua), por lo que *el 50% de la inversión a realizarse por la construcción del contraembalse de López no rendiría ningún beneficio.*
- *No parecía necesaria su construcción inmediata “para regular solamente el agua turbinada en horas pico por el proyecto de Tavera, dada la proyección de la demanda pico y las posibilidades de satisfacerla”*²⁹.
- *Y la regulación de los caudales turbinados, según las necesidades, puede hacerse con mayor eficiencia y abundancia de caudal en otras formas:*
 - *Utilizando una de las turbinas de Tavera durante las 24 horas del día, asegurando así el caudal necesario para satisfacer las exigencias de riego.*
 - *Construyendo una presa sobre el río Bao, cerca de Sabana Iglesia e interconectar su embalse con el de Tavera, mediante un canal de 1,200m de longitud, triplicando la producción de energía eléctrica de Tavera y garantizando el riego del distrito agrícola.*
- *La alternativa recomendada por Lahmeyer como la más barata para su construcción (la 2a, RD\$9.1M), no era la más adecuada para la generación de energía. Dada la poca capacidad de almacenaje del contraembalse, éste tendría que ser aprovechado bajo un programa rígido, limitado a las horas pico.*
El volumen útil del contraembalse era de 3.1Mm³, mientras que el volumen de agua turbinado diariamente por las centrales de los proyectos Tavera y Bao, sería de 3.46 Mm³ como promedio.
- *La inversión para el contraembalse de López ascendía a un 95% de la necesaria para construcción del proyecto de Bao, según la nueva concepción. Proyecto que se recomendaba como prioritario, dados los múltiples beneficios derivables del mismo*³⁰.
- *La inversión en el Proyecto Bao triplica la producción de energía eléctrica original de Tavera, pasando de 112 a 305 Gwh (193Gwh más). Mientras que la inversión en el contraembalse de López, sin Bao, no llega a duplicarla, aumentándola de 112Gwh a 189Gwh (77Gwh más).*

27 **Facilitaría conseguir el financiamiento para el distrito de riego del Yaque del Norte.** *El BIRF no quería financiar el distrito agrícola proyectado por CIEPS hasta que se garantizase el flujo continuo de agua a las áreas a cultivarse. Se propuso completar el agua faltante con agua del embalse de Tavera por el túnel de riego, pero el BM no aceptó esta solución porque reduciría sustancialmente la producción de energía eléctrica, afectando la capacidad para amortizar el financiamiento del proyecto de Tavera.*

Pero el BM estaba dispuesto a aprobar su financiamiento de iniciarse la construcción del proyecto de Bao, ya que dicho proyecto completaría el agua necesaria para el riego y podía construirse en menos tiempo que el necesario para desarrollar el distrito agrícola proyectado. **CDE I-A/ 4- 5.**

28 **CDE I-H/ 8.**

29 **Los contraembalses retienen las aguas turbinadas** para utilizarlas según las necesidades de riego, u otros usos. *No aumentan el caudal disponible de las cuencas y son tanto más eficientes cuanto más volumen de agua puedan retener para satisfacer las necesidades de su cuenca.*

El contraembalse de López permitía una producción total de 135Mw, con cuatro unidades durante las horas pico. Por lo que no parecía acertado construir un contraembalse, e instalar una segunda central hidroeléctrica para una *demanda real de sólo 55 Mw*, cuando por otra parte la producción de 135Mw pico no sería necesaria en los próximos diez años. Entonces, habría que recurrir inevitablemente a la re-regulación de las aguas turbinadas, mediante un contraembalse adecuado.

Por otra parte se encontraba en construcción *Valdesia*, con una *opacidad* 54 Mw para generación pico. Y se iba a construir *Sabana Yegua* que produciría 55 Mw pico. **CDE I-H/ 9 y 24.**

30 **CDE I-H/ 12-13.**

CUADRO AP 5.1.4
COSTO ESTIMADO DEL CONTRAEMBALSE DE LÓPEZ
CINCO ALTERNATIVAS (LAHMEYER, 1967) ACTUALIZADAS POR LA CDE (1972)

Alternativa	Costos estimados	Costos estimados
	Lahmeyer (1967)	CDE (1972)
1A	13,860,000	22,176,000
1Ba	13,900,000	22,240,000
1Bb	15,220,000	24,352,000
1Bc	17,610,000	28,176,000
2	9,708,000	15,532,800

CUADRO AP 5.1.5
ALTERNATIVAS “JAGUA, BAO Y LÓPEZ” PARA LA 2ª ETAPA DEL PROYECTO DE TAVERA
(Lahmeyer y CDE)³¹

DESCRIPCIÓN	1 Tavera+López(1Bc) +Jagua/Bao(J21) LAHMEYER	2 Tavera+López(1Bc) +Bao/Jagua(B21) LAHMEYER	3 Tavera+Bao(CDE) (sin López) CDE
Costos de inversión	RD\$119.8 M	122.8	73.6
Caudal regulado m³/s	31.5m³/s	33.6	38
Capacidad instalada	139.7Mw	143.7	80
Operación de pico	131Mw	135	56
Operación de base	8.7Mw	8.7	24
Energía promedio anual	291Gwh	300	305
RELACIÓN ENERGÍA - COSTOS			
SOLUCIÓN 1	$\frac{291}{119,803} = 0.00243$		
SOLUCIÓN 2	$\frac{300}{122,846} = 0.00244$		
SOLUCIÓN 3	$\frac{305}{73,580} = 0.00415$		

Por ello, **la CDE recomendó construir primero la presa de Bao (como 2ª Etapa) y posponer la construcción del contraembalse de López**, para cuando se justifique técnica y económicamente, dados los beneficios de la presa de Bao, el costo del contraembalse y de que existía la seguridad de que si se construía éste antes que la presa de Bao, se llenaría con los sedimentos que acarrea ese río y sus afluentes, en muy poco tiempo³².

31 CDEI-H/23.

32 **Costo del contraembalse de López.** Su costo mínimo, según Lahmeyer ascendía a unos \$9.7M (1967), valor muy por de bajo de su costo en 1972, para regular 3.1 M m3 de agua.

El contraembalse de López y el problema de los sedimentos acarreados por el río Bao. Lahmeyer recomendó que el contraembalse fuese construido aguas abajo de la confluencia del río Bao con el Yaque del Norte, en el sitio de López. Pero Tavera, hasta que se construyese la presa de Bao, sólo regularía los caudales del Yaque del Norte, aguas arriba de la confluencia con el Bao.

Mientras el río Bao y sus afluentes acarrieran sedimentos que, que llenarían el contraembalse en pocos años, creando problemas en la operación de la central hidroeléctrica, como reconoce el mismo estudio de Lahmeyer. Y la limpieza de los sedimentos del contraembalse, no parecía fácil con los métodos recomendados. **CDE I-H/10.**

Propuesta que fue aceptada y realizada ya que el proyecto Bao superaba ventajosamente a todas las concepciones anteriores para el aprovechamiento total de los recursos disponibles en las cuencas de los ríos Yaque del Norte y Bao, después de haberlas comparado técnica y económicamente.

**CUADRO AP 5.1.6
PRODUCCIÓN TOTAL ANUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA
PARA LAS DISTINTAS ALTERNATIVAS**

Alternativas	Costos de Inversión	Caudal regulado	Producción de energía anual
1. Tavera solo, sin López *	RD\$43.5M	15.17 mcs	112 Gwh
2. Tavera solo, con López **	71.6	17.10	189
3. Tavera + Jagua/Bao + López **	19.8	31.50	291
4. Tavera + Bao sin López *	73.6	38.00	305

* Según los resultados obtenidos del presente estudio.

** Según los diseños y datos de los estudios de Lahmeyer con costos actualizados.

Nota: La inversión del contraembalse López sin Bao aumenta la producción de energía de 112 a 189Gwh (77Gwh). Mientras que la del proyecto Bao aumenta de 112 a 305Gwh (193Gwh), casi triplica la producción de energía eléctrica original de Tavera.

**CUADRO AP 5.1.7
CAUDAL REGULADO DEL YAQUE DEL NORTE Y CAUDALES REQUERIDOS
POR LAS TURBINAS HIDROELÉCTRICAS EN TAVERA**

<i>Caudal regulado disponible Yaque del Norte, en Tavera</i>	17.1 m ³
<i>Caudal necesario para una eficiencia promedio de una turbina</i>	36.0 m ³ /s
<i>Caudal necesario para una eficiencia promedio de las dos turbinas</i>	80.0 m ³ /s*

* Para una mayor eficiencia de operación de ambas turbinas, se necesita una mayor disponibilidad de agua³³.

EL DISEÑO FINAL DE HARZA

Como seguimiento del “Informe de factibilidad del proyecto Tavera-Bao” de la CDE se contrató a **Harza para servicios de ingeniería de consultoría**, en dos etapas:

- En 1974 se encargó a Harza un *Informe de factibilidad complementario del proyecto de Bao*, una “revisión técnica del informe de factibilidad de la CDE” (1972) y de otros estudios anteriores³⁴.

33 CDEI-F/3.

34 **Informe suplementario de factibilidad - Objetivos:** 1) Revisión de los resultados de los estudios del informe de factibilidad para el proyecto Tavera-Bao (CDE, 1972). 2) Preparación de un programa para exploración geotécnica adicional y supervisión de su implementación en el campo. 3) Revisión de los diseños preliminares propuestos por el informe de factibilidad de la CDE (1972), modificando de su trazado, si fuere necesario, para reflejar los resultados del programa de exploración geotécnica y de otros estudios realizados, y 4) Revisión y actualización del estimado del costo de su construcción.

El contrato de servicios de ingeniería de consultoría suscrito con Harza se firmó el día 23 de octubre de 1974, siendo financiado por el BID. Y su estudio “*Proyecto Tavera-Bao: Informe suplementario de factibilidad*” se entregó en abril de 1976.

Estudios anteriores. En junio de 1967 Lahmeyer, bajo contrato suscrito con el INDRHI, presentó los resultados del “*Estudio de factibilidad del proyecto múltiple de Tavera*”.

En 1971 se inauguró el Proyecto Tavera. Y en 1972, contratados por la CDE, los Dres. D.U. Deere y F.D. Parton, presentaron su “Informe geotécnico de factibilidad para el proyecto Tavera-Bao”, en mayo, y el Dr. V.T. Chow, sus “Estudios hidráulicos e hidrológicos de factibilidad para el proyecto Tavera-Bao”, en junio. Estudios que complementados por otros estudios encargados y/o realizados por la CDE formaron el “*Informe de factibilidad Tavera-Bao*”, presentado formalmente en diciembre de 1972. **HARZA-ISF/ (I) HARZA-ISF/2 y II-9.**

- Y en 1977 se firmó un contrato con Harza para el *diseño final y supervisión de la construcción* del proyecto Tavera-Bao³⁵.

Y como resultado, se hicieron diversos estudios suplementarios de campo (hidrológicos, geológicos, hidráulicos, estructurales y costos de construcción) que parecieron necesarios para el diseño definitivo del proyecto.

Los resultados de la revisión y diseño final de Harza

- confirmaron que *el proyecto Tavera-Bao desarrollado por la CDE y sus asesores (1972) era de buena categoría y factible, en su conjunto*. La disposición general del proyecto Tavera-Bao recomendada, era esencialmente la propuesta por la CDE.
- *La modificación principal* efectuada a la disposición del proyecto Tavera-Bao (Lámina 3), *fue la relocalización del tapón erodible No. 2*, del dique mayor a una ubicación adyacente al tapón erodible No. 1, y su rediseño, fin de evitar una erosión descontrolada en la ubicación de dicho tapón erodible.
- *La mayoría de las modificaciones recomendadas eran cambios menores en los detalles del diseño del proyecto*³⁶.

35 **Diseño final y supervisión de la construcción.** Dicho contrato, firmado el 23 de mayo de 1977, incluía la preparación de: 1) los *documentos para la licitación*, con dibujos y características técnicas por la construcción y equipos para el proyecto, 2) *diseños y dibujos de detalle* como base para el trabajo del contratista, y 3) *supervisión y coordinación* de los trabajos de construcción. **HARZA-IF/ I 1-2.**

En junio de 1982, terminada ya la construcción del proyecto, propiamente dicha, Harza entregó su informe **“Tavera-Bao Project: Final Report of Design and Construction”**. Informe de la planificación, diseño, construcción y costos del proyecto Bao, conforme a los términos del contrato (23 de mayo de 1977).

36 **Las modificaciones principales del diseño** dictadas por la revisión de harza y por las condiciones de campo pueden verse en el *Ap. 5.6 Modificaciones sugeridas por HARZA al Proyecto Tavera-Bao de la CDE.*

APÉNDICE 5.2

ESTUDIO HIDRÁULICO DEL RÍO BAO (Mendar, 1956)¹

INTRODUCCIÓN

El **objetivo** del estudio era

- *Identificar las posibilidades de aprovechamiento hidráulico del río Bao a fin de poder diseñar un plan de conjunto para la explotación de sus recursos hidráulicos.*
- *Levantar los datos geológicos, morfológicos, topográficos e hidrológicos necesarios, para hacer un inventario de las posibilidades hidráulicas de la cuenca.*
- *Estudios, a nivel de prefactibilidad, que deberían profundizarse en etapas posteriores sobre los tramos identificados como más recomendables para su aprovechamiento hidráulico, clarificando sus características y los costos de su aprovechamiento².*

Una **fuerte dificultad para hacer una evaluación adecuada de las posibilidades hidráulicas del río Bao** fue la *ausencia de datos pluviométricos y de aforo*.

Hubo que recurrir a *tener en cuenta los factores que afectan a la escorrentía*, que intervienen en el proceso de transformación de la lluvia en caudal de agua circulante, la permeabilidad y relieve del suelo, así como la vegetación. A la morfología y el estado de arroyamiento.

Hidrogeología. Desde el punto de vista hidrológico, *los terrenos que se encuentran en la cuenca son impermeables en su inmensa mayoría*, las calizas solubles suponen menos del 2%, y las zonas recubiertas por aluviones permeables, estos son poco profundos.

La cuenca puede considerarse sin capturas ni pérdidas apreciables³.

Del informe geológico se dedujo que la cuenca del río Bao tiene **dos zonas distintas de escurrimiento**:

- 1) *La cuenca alta, con un coeficiente de escorrentía muy elevado y una retención mínima.* La cabecera del Bao es una zona, metamórfica o diorítica, con desniveles fuertes y lluvias importantes, el escurrimiento debe ser rápido y la escorrentía elevada. Y el efecto de regulación de sus aguas podría estimarse del orden de unos 25Mm³, entre los tres ríos estudiados (Bao, Yaque del Norte y Jimenoa), dando el mayor aporte la cuenca alta, seguida del Jimenoa y la menor parte el Bao.
- 2) *El resto de la cuenca, con una escorrentía algo menor que en la anterior y mayor retención.* Las precipitaciones son bastante menores que en las cumbres, y la erosión predomina en las penillanuras y llanuras de relleno (mesetas). Por ello,

1 MENDOZA Y ARMENTEROS - **Estudio Hidráulico del río Yaque del Norte y sus afluentes Jimenoa, Bao y Mao**. Santo Domingo. 1956.

- Memoria.
- Estudio Geológico.
- Río Bao: Plano topográfico y perfil longitudinal.

MENDAR-ehm
MENDAR-eg
MENDAR-bpl

2 MENDAR-ehm/19 y MENDAR-eg/1.

3 MENDAR-ehm/ 1 y MENDAR-eg/ 18.

el efecto regulador sobre el promedio anual debe ser apreciable, pero los valles recientes con fuertes pendientes de ladera originarán también crecidas rápidas en caso de huracán⁴.

RÍO BAO

El Bao *parece tener su origen en el Valle Bao, a 1.790m de altitud*, llanura de alta montaña que es un valle de relleno producido por una barrera metamórfica, tal vez permeable. Drena en su cabecera la vertiente occidental del macizo Duarte⁵.

Discurre por un lecho muy pendiente, recibiendo *aportaciones de varios arroyos, principalmente por la margen izquierda*, procedentes del macizo metamórfico de la "Loma de Oro".

Bordea el macizo diorítico Bao-Yujo muy resistente a la erosión produciendo *una serie de saltos (Saboneta, Fuencaliente) y cañones, con meandros impuestos*, faenas de cortar por túneles, en buen terreno. Este tramo se prolonga hasta San José de las Matas y la parte del macizo Bao-Yujo, incluida en la cuenca del Bao, desagua hacia él por medio del *Jagua*, río que juega respecto al Bao un papel morfológico análogo al del Jimenoa respecto al Yaque.

Como consecuencia de la posición marginal del Bao con respecto al macizo hipogénico, la vertiente de *la margen izquierda de este tramo es muy reducida y los afluentes del río Amina* se aproximan mucho al cauce del Bao. Desde el punto de vista hidráulico, el *Bajamillo* puede ser interesante para proyectos que comprendan la utilización de valles laterales.

Aguas abajo del macizo diorítico *el Bao y sus afluentes, Jánico y Jagua, siguen básicamente las direcciones normales al larámico*, inflexionándose después hacia el nordeste, donde siguen las capas de la banda terciaria hasta la confluencia del Yaque del Norte⁶.

EMBALSES DE REGULACIÓN Y APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS

Se han considerado todas las posibilidades técnicamente razonables de aprovechamiento partiendo del principio de crear *embalses para poder combinar las necesidades de riego con la obtención de energía*.

Se encuentran posibles embalses, en general, en los puntos *donde los ríos cruzan las zonas de fractura*, entran en compartimientos más altos o bien cambian de terreno a lo largo del valle. Los dos primeros tipos de vaso se encuentran en el Alto Bao y el tercer tipo en el Bao medio y bajo.

Los saltos hidroeléctricos se crean más fácilmente en los tramos que atraviesan *desniveles* de compartimiento en descenso y donde los ríos cortan tramos duros que dan fuertes pendientes, como sucede en el Bao⁷.

Sobre la *base de los posibles embalses*, se identificaron un conjunto de aprovechamientos hidroeléctricos en el río Bao *buscando el mayor aprovechamiento posible de los desniveles existentes, a fin de obtener la máxima producción*, además de servir de embalses de regulación para el riego⁸.

4 MENDAR-ehm 13 y MENDAR-eg/ 19.

5 **Valle de Bao.** Se presentan altiplanos análogos entre los 1,200 y 2,000m sobre las vertientes del Yaque del Sur y del río de en medio, lo cual, unido al nivel de algo más de 1,000m de las penillanuras que bordean el macizo, permite suponer que en su origen puede haber influido una antigua superficie de equilibrio análoga a la observada en la cuenca del río Nizao.

6 MENDAR-eg/16-17.

7 **Los saltos se crean más fácilmente.** En los otros tres ríos estudiados por Mendar (Yaque del Norte, Mao y Jimenoa) abundan más los tramos que corren *a lo largo de zonas de fractura o valles de relleno*, con pendientes uniformes y márgenes poco adecuadas para apoyar la construcción de los saltos.

8 **Aprovechamientos hidroeléctricos.** *Tal vez no se aprovechen parte de estos desniveles por resultar antieconómicas las obras precisas*, cuando se estudien en detalle los tramos concretos, o se fraccione en varios alguno de los saltos señalados. De la posibilidad de *fraccionar el desnivel disponible* depende la posibilidad o no de multiplicar su producción eléctrica.

En todo caso este estudio permitirá formarse una idea clara de la productividad de los distintos tramos de los ríos y en consecuencia, permitirá confeccionar un plan para su aprovechamiento.

Producción hidroeléctrica y riego. El aprovechamiento de los recursos hidráulicos de la cuenca debe considerar, *al mismo tiempo*, las necesidades hidroeléctricas y las de riego. “El país necesita hidroeléctricas, y en la cuenca del río Yaque del Norte tienen gran interés los regadíos”. Extensas superficies son ya regadas en la actualidad; y existen más terrenos disponibles para ampliar el riego, que demandan obras de regulación del río para garantizar los caudales.

Ambas necesidades no son incompatibles en este caso sino que pueden satisfacerse por las mismas obras. Las “zonas de riego” están situadas en la parte baja de la cuenca, donde los desniveles del río son tan insignificantes que no tienen interés hidroeléctrico, y los caudales absorbidos por los riegos no se restan a una posible producción hidroeléctrica posterior. Los “saltos hidroeléctricos” ubican en los tramos de acusado desnivel de las zonas medias y altas de la cuenca, y los embalses que se construyan para los mismos regularán al mismo tiempo los caudales para los regadíos situados agua abajo⁹.

Embalses y riego. Se estudió la regulación del río Yaque del Norte a fin de garantizar los 42m³/s necesarios para regar las 40,000ha propuestas, entre las existentes y las nuevas (8.5 + 35.5m³/s). Y se identificaron tres sitios de embalse, con capacidad suficiente y geología favorable: *Tavera, Bao-Jagua y Monción*. La regulación puede conseguirse “con solo dos de los tres embalses” señalados¹⁰.

CUADRO AP 5.2.1
PRESAS RECOMENDADAS PARA REGAR 42.000 HA
EN EL VALLE DEL YAQUE DEL NORTE
(MENDAR, 1956)

PRESAS RECOMENDADAS	Embalse útil necesario	Presa necesaria	
		Altura	Volumen aprox.
1. Tavera	75 Mm ³		230,000m ³
2. Bao	80	72	288,000
3. Monción	80	60	168,000
Total	235		686,000

Fuente: MENDAR-ehm

Los posibles sitios de embalses de regulación y/o saltos hidroeléctricos identificados en la cuenca del río Bao responden a un *doble criterio*: Embalses de regulación y/o saltos hidroeléctricos

- ubicados “en la cuenca del Bao”
- ubicados “fuera de la cuenca, pero cuyo aprovechamiento está relacionado con ella”.

SITIOS DE EMBALSE Y SALTOS HIDROELÉCTRICOS UBICADOS EN LA CUENCA DE BAO

Sabaneta. Descendiendo desde el nacimiento del río Bao, *después de la confluencia del arroyo Antonzape*, hay un cambio geológico que ofrece condiciones favorables para un embalse. Se pasa de la formación metamórfica a la de dioritas, más dura, dando lugar a un valle más estrecho, donde puede emplazarse una presa con el vaso en terreno metamórfico.

9 MENDAR-ehm/19.

10 Se deberán construir dos de los tres embalses señalados. Los caudales naturales del Yaque del Norte y sus afluentes no garantizan el agua necesitada para el riego. Así, en los años 1949-1953, de los que hay aforos completos, la cantidad de días con caudal inferior a los 33.5m³/s necesitados para la “ampliación del riego” propuesta han sido los siguientes: 219 (1949), 35 (1950), 51 (1951), 46 (1952) y 119 (1953).

El estudio de la regulación del Yaque del Norte se hizo en base a los datos de 1949, el más seco de los cinco años. Estudiada la regulación para ese año quedaba garantizada para los demás. En los años más abundantes la regulación se consigue con embalses de menor capacidad.

MENDAR-ehm/ 26-27.

La pendiente del río se acentúa en el terreno duro, permitiendo establecer un *salto de agua interesante*. Y la resistencia e impermeabilidad del terreno en la cerrada y el vaso son satisfactorias

La *capacidad del embalse será pequeña*, a causa de la considerable pendiente del río. Pero puede utilizarse como *embalse lateral un valle del arroyo Bajamillo*, de la cuenca del río Amina. Solución que deberá ser considerada cuando se lleve a cabo el estudio en detalle del aprovechamiento.

Las *características* del embalse de Sabaneta serían:

Cota del río	801
Aportación media anual del río	380Hm ³
Capacidad conveniente aproximada	30Hm ³

CUADRO AP 5.2.1
SITIOS PARA EMBALSES Y/O SALTOS HIDROELÉCTRICOS
EN EL RÍO BAO, O RELACIONADOS CON ÉL

RÍO Embalse y/o Salto	Embalse Regulación	Salto hidroeléctrico
BAO		
Sabaneta	x	--
Alto Bao	--	x
Jánico	x	--
Jagua	x	x
YAQUE DEL NORTE *		
Manabao	x	x
Tavera	x	x
Angostura	x	x

* Fuera de la cuenca del río Bao pero relacionados con ella

Alto Bao. Se puede obtener un aprovechamiento hidroeléctrico del Alto Bao partiendo del *embalse de Sabaneta* con un “túnel a presión”, que gane los importantes desniveles existentes río abajo, hasta el posible embalse aguas abajo de la confluencia del Bao con el Jagua. Desnivel total que habría que aprovecharlo en “dos o tres saltos”, por imperativos topográficos y por la conveniencia de incorporar los caudales intermedios.

En uno de estos saltos habrá que estudiar la posibilidad de *incorporar las aguas del Alto Jagua*, por trasvase.

Después de la confluencia del arroyo Antozape el río Bao tiene ya cuenca suficiente para poder interesar su regulación, da una fuerte pendiente. El embalse situarse a la entrada de la zona de diorita, con fuerte pendiente, y a continuación se puede crear un salto importante con túneles que corten las curvas del trazado del río.

Si resultase imposible encontrar un vaso suficiente, puede estudiarse la *posibilidad del valle del Bajamillo como depósito auxiliar*, con una presa que no precisaría más que un pequeño aliviadero.

La *geología de la zona parece favorable, pero hay que confirmarla* con los estudios indispensables, en caso de realizarse el proyecto, ya que pueden existir fracturas y zonas milonitizadas, de importancia para la construcción de los túneles.

Las características estimadas para la totalidad del desnivel son las siguientes:

CUADRO AP 5.2.3
EMBALSE DEL ALTO BAO

Cota máxima del embalse	841m snm
Cota de restitución al río	302m snm
Salto bruto	539m
Capacidad de embalse	40Hm ³
Aportación media anual	460Hm ³
Aportación media aprovechable	300Hm ³
Aportación media aprovechable del caudal mínimo	164 Hm ³
Producción media anual total	325Gwh
Producción firme anual	177Gwh
Caudal máximo	15m ³ /s
Potencia máxima	60,000Kw

Fuente: MENDAR-ehm

Jánico. Más aguas abajo del Bao, en las *inmediaciones de Jánico* el río corre sobre terrenos marchosos terciarios y entra en conglomerados con el estrechamiento y encaje consiguiente de su cauce presentando un emplazamiento favorable para una presa. El vaso sería impermeable y no hay dificultades de orden geológico.

Las *características* del embalse de Jánico serían:

Cota del río	298
Aportación media anual del río	560Hm ³
Capacidad conveniente aproximada	40Hm ³

Su **viabilidad** e interés están *condicionados por la posible presa de Bao-Jagua, aguas abajo*, que parece más interesante que la de Jánico. Y que en caso de instruirse el embalse creado por ella se superpondría en parte con el Jánico.

Jagua. *Aguas abajo de la confluencia del Bao con el río Jagua*, y antes de la afluencia al Yaque del Norte se puede construir una presa de cierta altura, ocupando como vaso los valles confluentes del Jagua y el Bao.

El cauce está encajado en conglomerados miocenos, análogos a los de Valdesia, y geológicamente puede construirse una presa para embalsar y regular los dos ríos. *Su volumen sería reducido*, dado que los dos valles son estrechos y pendientes.

Pero puede hacerse un *trasvase procedente del embalse de Tavera*, pudiendo construirse su “túnel” en el conglomerado o el “flysch” arenoso.

Las *características* del embalse de Jagua serían¹¹:

Cota del río	228
Aportación media anual del río	620Hm ³

El aprovechamiento hidroeléctrico de las aguas de este embalse se efectuaría como se indicó al tratar el *salto de Tavera (Soluciones 2 y 3)*, conectado con éste por un “túnel de transvase” y con las variantes señaladas, que habrían de compararse en un estudio económico¹².

11 MENDAR-eg/ 23-25.

12 MENDAR-ebm/ 36-37.

SITIOS DE EMBALSE Y SALTOS HIDROELÉCTRICOS UBICADOS FUERA DE LA CUENCA DE BAO, PERO RELACIONADOS CON ELLA

Manabao. Este salto está en el *Yaque del Norte*, y no en el Bao. Pero una de las dos soluciones previstas para el aprovechamiento hidroeléctrico de las aguas del alto Yaque del Norte consistiría en *trasvasar las aguas del embalse de Manabao al río Jagua y de éste, tal vez, al Bao*¹³.

Este sitio es el primer ensanchamiento que presenta el río después de descender del Pico Duarte, con condiciones geológicas favorables para establecer un embalse. *Un embalse de alrededor de 20Hm³* será, probablemente, el indicado para una regulación suficiente de los caudales en este punto

La cota del río en este punto es la	878
La aportación media anual del río	280Hm ³

Este trasvase comprendería un túnel para pasar, por debajo de la sierra atravesada, a la cuenca del Jagua. Y un tramo de canal por la margen derecha de este río, contorneando la cabecera del Yaque, atravesándola e incorporando sus aguas a las del arroyo Donajaa y pasando finalmente al Bao, probablemente por un pequeño túnel.

Es imposible precisar las características de este aprovechamiento ni las de las obras necesarias en cualquiera de las variantes indicadas, por carecer de planos topográficos de las zonas que deberían atravesar los canales¹⁴.

De ahí que *se requiere una serie de estudios previos* (topográficos, geológicos, etc.) para poder determinar las características y las obras de su aprovechamiento, comparando las soluciones alternativas para encontrar la más económica.

Dada la considerable longitud de los canales, tal estudio será largo y costoso. Por ello, al igual que hemos hecho en el estudio del río Nizao, con respecto al salto de cabecera, recomendamos la *posposición de estos estudios*, pues estimamos que este salto sería excesivamente costoso, pudiendo llevarse a cabo ahora otros de mejor rendimiento económico¹⁵.

Tavera. Este salto también está en el *Yaque del Norte*, y no en el Bao, pero implica al Bao una de las alternativas consideradas para su aprovechamiento hidroeléctrico. Alternativas que están condicionadas a la posibilidad o no de la construcción del embalse de Angostura. Conocido esto, podrá determinarse la capacidad definitiva del embalse de Tavera, y la del embalse de Bao-Jagua, relacionado con él, tanto en lo que respecta a la regulación del río para riego como en lo relativo al aprovechamiento hidroeléctrico.

El sitio de Tavera cierra con conglomerados del tipo de Valdesia. La impermeabilidad del terreno parece buena, pero debe comprobarse al realizar el estudio definitivo.

Las *características* de este embalse son:

Cota del río en el emplazamiento	245
Aportación media anual del río	760Hm ³

De ser posible la construcción del embalse de Angostura hay que considerar el *trasvase de las aguas del embalse de Tavera al de Bao-Jagua* para ser aprovechadas en una sola central, con desnivel máximo, al pie de la presa de Bao-Jagua. El túnel de transvase parece no ofrecer dificultades desde el punto de vista geológico (Solución 2)¹⁶.

13 **Manabao.** La otra solución para el aprovechamiento del alto Yaque del Norte sería. *Un canal a cielo abierto* arrancando del embalse de incorporando a su paso las aguas de todos los arroyos y barrancos que drenan el alto macizo desaguardo al Yaque del Norte, aguas arriba de Jarabacoa, donde estaría la central hidroeléctrica. **MENDAR-ehm/28.**

14 Planos topográficos El plano 1:200,000 que hemos compuesto no sirve en absoluto a este propósito. El taquimétrico a escala 1:2,000 levantado por nosotros cubre solamente los ríos principales Yaque del Norte y Bao. En el Anexo 7 se incluye una reducción a escala 1:100,000 de este plano.

15 **MENDAR-efam/ 20-21 y 28-30.**

16 **Si se construyera el embalse de Angostura** para su aprovechamiento hidroeléctrico, cabría considerar también la solución de salto de pie de presa puro. **MENDAR-ehm/ 33. MENDAR-ehm 21 y 31 y MENDAR-eg: Anexo 3.**

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

Y si el embalse de Angostura no pudiera construirse, una alternativa a estudiar sería incorporar un desnivel del río mucho mayor, por medio de un *túnel que arrancaría del embalse de Bao-Jagua, al cual se trasvasarían las aguas del embalse de Tavera*, y por la margen izquierda del Yaque del Norte iría hasta las inmediaciones de Santiago (Solución 3)¹⁷.

Resumimos a continuación las *características estimadas* del salto en las tres soluciones:

1. Salto de pie de presa puro en el embalse de Tavera.
2. Salto de pie de presa puro en Bao-Jagua con transvase del embalse de Tavera.
3. Salto Tavera-Bao, con túnel hasta las inmediaciones de Santiago.

CUADRO AP 5.2.4
EMBALSE DE TAVERA

	Soluciones Alternativas			
	1	2	3	
Cota máxima del embalse	302	302	302	m snm
Cota de restitución al río	245	232	160	m snm
Salto bruto máximo	57	70	142	m
Saldo bruto mínimo	19	28	123	m
Salbo bruto medio	46	56	135	m
Capacidad de embalse	75	75+80	75+80	Hm ³
Aportación media anual	760	760+620	760+620	Hm ³
Aportación media aprovechable	725	1,310	1,310	Hm ³
Aportación media aprovechable caudal mínimo	410	900	900	Hm ³
Producción media anual total	67	146	355	kwh
Producción media firma anual	16	50	220	kwh
Caudal máximo	40	73	73	m ³ /s
Potencia máxima	15,500	34,000	70,000	Kw

Fuente: MENDAR-ehm

Angostura. Este sitio de embalse no está en el Bao, sino en el Yaque del Norte, pero su aprovechamiento tiene relación con el Bao.

Está en el Yaque del Norte, aguas abajo de su confluencia con el Bao, en un estrecho cañón, de cuyas favorables condiciones topográficas para establecer una presa da idea el nombre del paraje, la Angostura. Y el vaso de la presa pudiera estar en el inmediato valle de Baitoa, que presenta excelentes condiciones topográficas

Las *características* de este embalse serían las siguientes:

Cota del río en el emplazamiento	182
Aportación media anual del río	1,475Hm ³

El embalse reuniría *las aguas de toda la cabecera y tramo medio del Yaque del Norte, con sus afluentes más caudalosos*, regulados con una obra única. Aguas abajo comienza el tramo agrícola del río Yaque del Norte, resultando imposible su reemplazo.

¹⁷ **Angostura: Solución 1.** Si se construye el embalse de Angostura, para el aprovechamiento hidroeléctrico del embalse de Tavera se estudiaría la conveniencia de incorporarle el desnivel disponible hasta la cota del máximo embalse de aquél, por medio de un túnel a presión desarrollado por la margen derecha del río Yaque del Norte. No puede afirmarse sin un estudio en detalle si es conveniente tal incorporación de desnivel. MENDAR-ehm/ 31.

Pueden presentarse *dificultades de orden geológico*, pues la roca es blanda, soluble y erosionable, en general. Por lo que se necesitan estudios de reconocimiento para comprobar si el embalse en Angostura es viable.

En todo caso al estudiar las obras de *regulación del Yaque del Norte (Tavera) y del Bao se deberán comparar dichas alternativas con esta solución de un único embalse en Angostura de Baitoa*, donde puede ser económico afrontar la obra del embalse, aunque implique ciertas dificultades¹⁸.

CUADRO AP 5.2.5
RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS PROVISIONALES DE LOS
SITIOS DE APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO EN LA
CUENCA DEL BAO Y OTROS SITIOS RELACIONADOS CON ELLA

Nombre y tramo de río	Producción anual Gwh	Potencia Kw	OBSERVACIONES
Alto Bao Río Bao	Total: 325 Firme: 177	60,000	A dividir en varios saltos. Poco interés para riegos. Desarrollo largo.
Manabao Alto Yaque N.	Total: 150 Firme: 82	26,200	Sin interés para riego. Canal muy largo. Proyecto largo y costoso.
Tavera 2ª Yaque N-Bao	Total: 146 Firme: 50	34,000	Interesantes para riego. Geológicamente la solución 2ª es fácil y clara, y la 3ª es dudosa.
(Soluciones) 3ª	Total: 355 Firme: 220	70,000	La solución 3ª es incompatible con la presa de Angostura.
Angostura Yaque del Norte	Total: 166 Firme: 52	40,000	Interesante para la regulación de regadíos. Geológicamente dudoso.

Fuente: MENDAR-ehm

18 MENDAR-ehm/ 22.

APÉNDICE 5.3

EL RÍO BAO Y EL PROYECTO DE TAVERA (Mendar, 1959)¹

SALTO HIDROELÉCTRICO DE TAVERA EN EL BAO

Entre otros lugares aprovechables, el “Estudio hidráulico del río Yaque del Norte” de Mendar recomendaba el emplazamiento de Tavera, donde se consideraba posible construir una presa que regulara los caudales del Yaque del Norte, asegurando el agua para las zonas actualmente regadas y *permitiría ampliar el riego hasta 40.000ha.*

Y permitiría también crear un *salto hidroeléctrico* con una potencia que variaba, según la solución técnica que se adoptara:

- desde 15.500Kw, en caso de que la central eléctrica se situara *al pie de la presa.*
- hasta 70.000Kw, como máximo, si el agua del embalse de Tavera se trasvasara a un embalse construido en el río Bao, y el agua de Tavera y Bao se condujera por un túnel hasta el río Yaque en las inmediaciones de Angostura. (Donde la central hidroeléctrica)².

El “Proyecto definitivo del aprovechamiento múltiple del río Yaque del Norte. Sitio de Tavera” (1959) presentó cuatro soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico de las aguas del embalse de Tavera. Dos fueron desechadas, por el mismo estudio, y dos fueron seleccionadas: la Solución 1ª y la 4ª.

La Solución 1ª

Ponía el desagüe al río, y la central hidroeléctrica *al pie* de la ladera derecha, con 230m de conducciones en túneles.

En esta solución *el salto aprovechado era el menor de todos* y, por consiguiente, lo son también su producción y producción. Si su costo fuera el menor de todas las soluciones consideradas. El “desnivel neto máximo sería de 66.10m y el salto neto de 60m”.

La producción media de energía sería de unos 90MKwh anuales, con un aporte medio anual de 700Mm³ de agua, de los cuales 23 MKwh serían firmes. Y la potencia de las turbinas con el salto medio, y 60.00m³/s, sería de 42,720 CV, y la de los alternadores, sería de 38,000Kwh³.

1 MENDAR - Proyecto definitivo del aprovechamiento múltiple del río Yaque del Norte. Sitio de Tavera. 1959.

2 Ibídem.

MENDAR-tam I/ 4.

3 **Soluciones desechadas. Solución 2ª.** En esta solución se colocaba la central en la margen derecha, aguas debajo de la primera gran curva que describe el río, en el lugar denominado Bohío. *El salto neto máximo aprovechable era de 69.30m y el salto medio de 63.20m*, ganando, ganando una altura de 3.20m respecto a la Solución 1ª. La mala calidad de la roca en la chimenea de equilibrio encarecía su construcción.

Por ello esta solución fue *desechada, dada la escasa ganancia del salto, con respecto a la solución 1ª, mucho más económica.*

Solución 3ª. La central central hidroeléctrica se situaba en la ladera izquierda de la presa. *El salto máximo aprovechable sería de 77.00m y el salto medio sería de 71.00m*, ganándose una altura de 11.00m respecto a la Solución 1ª. Esta solución se *desechó por sus condiciones geológicas desfavorables.* MENDAR-tam m-IV/X.I-4.

La Solución 4ª (que implicaba al Bao)

Situaba la central hidroeléctrica, con su desagüe en la margen derecha del río Bao, en el lugar donde recibe al arroyo Flaire. El agua del embalse de Tavera llegaría por un túnel a presión de 4,200m, que se originaría en el entrante del embalse de Tavera en el arroyo Mateo.

El salto neto máximo sería de 98m. Y el salto neto medio sería de 92.00m, ganando 32m respecto a la solución 1ª.

La producción media anual ascendería a 137MKwh, de los cuales serían firmes 41MKwh. La potencia de las turbinas para una admisión de 60m³/s sería de 65,500 CV, y la de los alternadores, de 58,000Kwh.

Una ventaja muy importante de esta solución era la posibilidad de aprovechar en el futuro, en la misma central hidroeléctrica, las aguas del río Bao y las de su afluente el Jagua. Para ello sería preciso realizar obras complementarias de derivación y conducción, que no presentaban dificultad.

La producción media anual alcanzaría 219M de Kwh, y la producción firme 127M de Kwh, ya que la combinación de los dos embalses permitía elevar el nivel mínimo. Para ello habría que aumentar la potencia de las turbinas de la central hasta 98,250 CV y a 87,000Kwh. en los alternadores, elevando el caudal aprovechable total hasta 90m³/s.

Este notable aumento de producción firme es la ventaja más destacada de esta solución. Aun sin la adición de las aguas del río Bao, el incremento de 32m de desnivel al salto que se tiene al pie de la presa, mejora notablemente la producción hidroeléctrica, como se ve en el cuadro adjunto.

El aprovechamiento conjunto con las aguas del río Bao acentúa esta mejora de producción hidroeléctrica, pues los caudales se regularizan casi totalmente.

CUADRO AP 5.3.1
PRODUCCIÓN ELÉCTRICA EN BASE A LAS AGUAS
DE LOS RÍOS YAQUE DEL NORTE, BAO Y JAGUA

	Solución 1	Solución 4	
	Yaque Norte	Yaque Norte+Bao	Yaque Norte+Bao+Jagua
Producción total Kwh	90,000,000	137,000,000	219,000,000
Producción firme kwh	23,000,000	41,000,000	127,000,000
Producción firme	0.25	0.30	0.58
Producción total			

El llevar las aguas del Bao al embalse de Tavera, para turbinarlas en la central al pie de la presa (**Solución 1ª**), sería posible pero las obras necesarias serían “mucho más costosas” que las de la Solución 4ª. Y el “rendimiento energético sería muy inferior”, al ser menor la altura de salto.

Esta solución era la preferida por Mendar.⁴

Solución desarrollada en el proyecto

Dado que “los términos de referencia del proyecto restringían la posibilidad de un estudio de aprovechamiento general Tavera-Bao, como requería la solución 4ª”, el proyecto se concentró en la Solución 1ª, que parecía la mejor, si se prescindía de las aguas del río Bao.

4 MENDAR-tam III-IV/ X.4-6.

Pero se consideraba que *el salto hidroeléctrico del embalse de Tavera podría optimizarse construyendo un embalse en el Bao, al que trasvasar las aguas de Tavera, y construyendo un túnel desde el embalse de Bao hasta el río Yaque en las inmediaciones de Angostura.*

Y por eso se recomendó hacer un estudio de la Solución 4ª con Bao y Jagua, antes de emprender la construcción de la Solución 1ª, con sólo Tavera, a fin de precisar y comparar las ventajas y presupuestos de las dos alternativas.

CONTRAEMBALSE DE TAVERA Y EL RÍO BAO

Necesidad de contraembalse. El objeto fundamental del embalse de Tavera es *garantizar caudales suficientes para los riegos actuales y futuros* del tramo inferior del río Yaque del Norte. Por lo que los otros posibles usos del agua del embalse no deben perturbar el régimen de caudales que debe servir a la zona regable.

El caudal destinado a riego debe ser uniforme a lo largo del día y de la semana, mientras que los caudales turbinados son muy variables, ya que atienden la demanda de las horas pico. Mientras que las centrales térmicas sirven el consumo de base.

Para no sacrificar ninguno de estos dos usos del embalse, riego e hidroeléctrico, se debe construir aguas abajo del embalse de Tavera, un contraembalse (pequeño embalse), que recoja el agua turbinada por la central hidroeléctrica, y no usada inmediatamente para riego. Agua que será soltada más tarde para irrigación, de acuerdo a las necesidades de riego, con o sin segunda turbinación, en horas en que no funcione la central hidroeléctrica del embalse principal de Tavera⁵.

Ubicación del contraembalse

Así, pues, para regular las aguas turbinadas por el salto hidroeléctrico de Tavera, según las necesidades de riego, se consideraron tres posibles emplazamientos para un contraembalse, o pequeño embalse de regulación.

- El primero es el *propuesto por la “Montreal Engineering”*, que ha sido desechado por su escasa cubicación escasa y limitar el aprovechamiento hidroeléctrico del río, si en el futuro se considera conveniente instalar una central que utilice el desnivel creado por la presa del contraembalse, con objeto de establecer un aprovechamiento integral escalonado.
- El segundo, situado 900m *aguas arriba de la población de Baitoa* (“emplazamiento Tavera 2” del estudio general del aprovechamiento del Yaque del Norte). Presenta excelentes condiciones topográficas y geológicas para una presa de poca altura, y puede alcanzar suficiente capacidad para la regulación diaria, e incluso la semanal, si se colocan compuertas en el aliviadero.
- Y un tercer emplazamiento *aguas abajo de la confluencia del Bao con el Yaque del Norte*, que habría tenido ciertas ventajas de darse el aprovechamiento conjunto de ambos ríos, con un volumen de agua mucho mayor. Pero sirviendo sólo al embalse de Tavera presenta unos costos, respecto al emplazamiento anterior, por sus características y ciertos inconvenientes geológicos, que no compensa.

De ahí que se recomendó el segundo emplazamiento, el de Baitoa, como *suficiente para el embalse de Tavera y el más económico*⁶.

5 TAMAM III-IV/ XI.1.

6 TAMAM III-IV/X.1-3.

APÉNDICE 5.4

PRESA DE JAGUA vs PRESA DE BAO (Lahmeyer, 1967)¹

El INDRHI firmó en 1966 un contrato con la firma Lahmeyer, alemana, para hacer varios estudios sobre el aprovechamiento múltiple del río Yaque del Norte y sus tributarios, los ríos Bao, Tagua y Guanajuma. Contrato que incluía

- *Tres estudios de factibilidad:* de la “presa de Tavera”, el “contraembalse de López” y la “presa de Jagua/Bao”, y
- Un estudio de pre-inversión de los ríos “Jagua/Bao”, para clarificar cuál de los dos era la mejor solución.

El contrato se firmó el 12 de diciembre de 1966. Y Lahmeyer entregó el *Estudio de factibilidad del proyecto múltiple de Tavera* en junio de 1967, consiguiéndose financiamiento para la 1ª etapa del mismo del BID y la AID².

El estudio de pre-inversión de Jagua y Bao investigó el aprovechamiento de los recursos hidráulicos, de riego e hidroeléctrico de dichos ríos, estudiando diez alternativas.

Se consideró como la solución más económica y, para la que debería prepararse un estudio de factibilidad, la construcción de una presa de tierra sobre el río Jagua. Presa con un nivel máximo del embalse de 335m, y un túnel que lo conectara con la central hidroeléctrica en el arroyo Flaire.

Su caudal neto regulado de 23.2m³/s, descontado el suministro de agua al acueducto de Santiago, permitiría producir unos 94.0Gwh anuales de energía primaria, con una capacidad instalada de unos 51MW. Y se podrían regar unas 19,000ha, en el Valle del Cibao, aguas abajo de Santiago de los Caballeros³.

ESTUDIOS SOBRE JAGUA Y BAO

Para el estudio del aprovechamiento de los ríos Jagua y Bao, hay muy poca información anterior.

Los estudios de Mendar y de VBB sólo contienen soluciones técnicas para el aprovechamiento de los tributarios del Yaque del Norte, y no presentan informes económicos, estando enfocados principalmente al proyecto de Tavera. Ambos proponen la construcción de una presa sobre el río Jagua, previendo un desvío del río Bao al río Jagua, y recomendando la conexión del sistema Bao/Jagua con el de Tavera.

La VBB propuso la unión de ambos embalses mediante un embalse. Mientras que Mendar recomendó la unión de los sistemas Bao/Jagua y Tavera mediante un túnel que conectase el embalse de Jagua con el túnel de presión de Tavera⁴.

1 LAHMEYER - Proyecto múltiple río Jagua/río Bao: Estudio de Pre-inversión. INDRHI. Frankfurt/ Main (Alemania). Dic. 1967 (Dic. 1967 en Portada vs Abril 1968 al final del Estudio).

2 LAHMEYER-jaba/ 1.

3 LAHMEYER-jaba/ 1-2.

4 LAHMEYER-jaba/ 4.

El estudio de factibilidad del proyecto múltiple de Tavera (Lahmeyer) indicó que la construcción del “conjunto Tavera y Jagua/Bao”, debía hacerse por etapas, y no simultáneamente como se había sugerido, por razones económicas.

Y recomendó la construcción de una presa sobre el río Jagua, en vez de una presa sobre el río Bao, como habían recomendado Mendar y VBB. Pues así se lograría

1. un “embalse conjunto mayor” con las aguas de ambos ríos, con un volumen casi 100% mayor que con un embalse sobre el río Jagua, con el consiguiente aumento de las aguas reguladas.
2. una “reducción de la longitud del túnel” entre el embalse y la planta hidroeléctrica sobre el arroyo Flaire, con la correspondiente disminución de la inversión.

Recomendación a nivel preliminar que dio lugar al estudio de pre-inversión Jagua/Bao, para determinar el mejor sitio para construir una presa, en uno de los dos ríos alternativos, desde el punto de vista técnico y económico, Y se estudiaron diez alternativas, de las que terminaron seleccionándose dos, para su comparación final. Las llamadas “Bao-21” y “Jagua-21”, ambas con la central hidroeléctrica en arroyo Flaire⁵.

Los costos de la construcción de su distrito de riego se estimaron en unos \$480.00/h. Y los gastos de operación y mantenimiento en RD\$11.50/ha-año⁶.

CUADRO AP 5.4.1
CARACTERÍSTICAS DE LOS EMBALSES ALTERNATIVOS DE BAO Y JAGUA⁷

	BAO - 21	JAGUA - 21
CUENCA		
Área	887 km ²	390 km ²
Longitud del río	74 km	43 km
Pendiente	2.8 %	3.6 %
Ancho medio	12.0 km	9.1 km
HIDROLOGÍA		
Caudal natural, promedio	19.5 m ³ /s	8.8 m ³ /s
Caudal natural promedio	---	19.0 m ³ /s ⁸
Caudal natural acumulado	615Mm ³	600 Mm ³
Caudal regulado		
Inicial	16.5 m ³ /s	14.4 m ³ /s
Después de 50 años	16.1 m ³ /s	14.0 m ³ /s
Caudal medio	16.3 m ³ /s	14.2 m ³ /s
Avenida		
Máxima probable	8,600 m ³ /s	5,000 m ³ /s
Frecuencia 10 años	1.500 m ³ /s	870 m ³ /s
Sedimentación	750 m ³ /km ² -año	675 m ³ /km ² -año ⁹
EMBALSE		
Volumen útil		
a. Inicial	202 Mm ³	119 Mm ³
b. Después de 50 años	188 Mm ³	103 Mm ³
Nivel máximo ¹⁰	325.0 m snm	345.0 m snm
Centro de gravedad	310.0 m snm	312.0 m snm

5 **Diez alternativas** de presa, cuatro en el Bao y seis en el Jagua. Con distinto “nivel máximo del embalse”, y según fuera ubicada la central hidroeléctrica sobre el arroyo Flaire o al pie de la presa. LAHMEYER-jaba/ 5.

6 **RD\$ 480.00/ha**, tomando en cuenta la creación de nuevas zonas agrícolas, el mejoramiento y restauración de las zonas ahora bajo riego, y la construcción de los necesarios sistemas de drenaje.

Costos de Riego. En la determinación de los costos anuales se ha tomado en general un tipo de interés de 6% y un período de operación de 50 años. LAHMEYER-jaba/ 57.

7 LAHMEYER-jaba/ 10-13,20-29 y 56-61 y Tabs 7-10

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

	BAO-21	JAGUA-21
PRESA		
Dique		
a. Cota de corona	330.0 m	340.0 m
b. Altura	97.0 m	88.0 m
c. Volumen	2.1 Mm ³	1.45 Mm ³
Vertedero		
a. Ancho entrada	87.0 m	52.0 m
b. Altura de las compuertas	12.0 m	12.0 m
Túnel de desvío		
a. Diámetro	10.5 m	8.2 m
b. Longitud	380.0 m	420.0 m
Túnel de presión		
a. Diámetro	5.6 m	5.2 m
b. Longitud	1.9 km	3.2 km
HIDRO-ELECTRICIDAD		
Caída		
Bruta	107.0 m	117.0 m
Hs	93.0 m	103.0 m
Neta Hs - hv	90.2 m	97.5 m
Capacidad instalada	55.0 MW	51.0 MW
Energía primaria E	110.0 Gwh	94.0 Gwh
Energía secundaria E _s	25.3 Gwh	36.3 Gwh
ÁREA REGABLE	8.500 ha	5.400 ha
DATOS ECONÓMICOS (RD\$ M)		
Costos del proyecto		
Directos	27.6	20.9
Incluyendo indirectos	37.3	28.1
Parte de costos energía	8.6	10.5
Parte costos dique y obras auxiliares	28.7	17.7
Costos anuales		
Total	3.0	2.3
Riego	0.4	0.2
Energía	0.65 ctv/kwh	0.93 ctv/kwh
Beneficio		
Total anual	5.7	4.3
De la energía (Caudal en sitio de presa)	1.4	1.3
Del riego	4.3	2.7
Beneficios/costos		
Beneficios/costos total proyecto	1.89	1.76
Beneficios por la energía	1.99	1.52
Tipo de interés interno (%)	14.4	13.3

- 8 **Jagua, 19m³/s** de caudal, en el sitio de la presa, si se conecta el río Bao con el Jagua.
Los 8.8m³/s de caudal del Jagua es en base a su propia cuenca. **LAHMEYER-jaba/ 13 y 22.**
- 9 **Sedimentación en Jagua.** Se estimó en un *10% menos que Bao*, debido al desvío del río Bao.
Sedimentación prevista después de
50 años 100 años
1) Bao 33Mm³ 66 Mm³
2) Jagua 30Mm³ 60 Mm³
LAHMEYER-jaba/ 18-19.
- 10 **Nivel Máximo.** Ver Cuadro siguiente.

CUADRO AP 5.4.2
EMBALSES DE BAO Y JAGUA - DATOS VARIOS¹¹

Alternativas	Nivel máximo del embalse (m snm)	Nivel útil del embalse ¹² (m snm)	Volumen útil inicial (Mm ³)	Volumen útil año 50 (Mm ³)
Río Bao	310	284	101	87
	325	287	202	188
Río Jagua	325	302	66	55
	335	297	119	103
	345	305	163	146

COMPARACIÓN ENTRE LAS ALTERNATIVAS CON PLANTA HIDROELÉCTRICA AL PIE DE DIQUE Y LA PLANTA HIDROELÉCTRICA EN EL ARROYO FLAIRE

En la evaluación de las alternativas se tuvo en cuenta que:

- *Un desarrollo por partes, como construir primero la planta hidroeléctrica al pie de presa y más tarde construirla planta en el arroyo Flaire, con su túnel, cuando la demanda de energía crezca, eliminando la planta anterior, “no resulta económica”.*
- *La producción de la energía primaria en las soluciones con la casa de máquinas en el arroyo Flaire es un 33% o más cara, como promedio, que en las soluciones con casa de máquinas al pie del dique.*
- *Los variantes con túnel largo y casa de máquinas en el arroyo Flaire se han juzgado más convenientes que las variantes con la casa de máquinas al pie del dique, dado que hay que atender el incremento de la demanda de energía de pico, y los costos de esta en la planta de arroyo Flaire son un poco menores que al pie de la presa.*

A la luz de las informaciones de que se dispone se considera que las **soluciones B-21 y Jagua-21** como las mas factibles¹³.

COMPARACIÓN ENTRE LAS ALTERNATIVAS BAO-21 Y JAGUA-21

En el análisis hecho de las diversas soluciones **la alternativa Bao-21 (B-21) era preferible a la alternativa Jagua-21 (J-21)**, por la relación de beneficio/costos¹⁴.

Pero *necesitaba una inversión adicional de RD\$ 9.1 M* más que en el caso de la alternativa Jagua-21¹⁵.

¹¹ LAHMEYER-jaba/20-21.

¹² El nivel útil, o mínimo, del embalse se fijó para impedir interrupciones del servicio por la acumulación de sólidos antes de las tomas de agua, por un período de 100 años. Se consideró que las de tomas de agua, definitivas de los niveles mínimos, debían estar 12m por encima del nivel de sedimentación en 100 años.

Y se ha limitado a un máximo de 40m la oscilación entre el nivel máximo y el nivel mínimo para impedir excesivas oscilaciones, que tendrían como consecuencia una indeseable variación de la potencia generada, así como para excluir una operación de la turbina con ineficiencia.

¹³ LAHMEYER-jaba/ 63.

¹⁴ **Mejor relación beneficio/costo para Bao.** La alternativa Bao-21 alcanza a un 7% de interés interno de un 8% más alto que la alternativa Jagua-21.

¹⁵ **Inversión adicional de RD\$9.1M.** RD\$37.3M para construir la presa de Bao vs RD\$28.2M para construir la presa de Jagua.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

Por ello era dudoso que Bao-21 fuera la alternativa más económica desde el punto de vista de la disponibilidad de inversiones y capital. En caso de invertir fondos demasiado altos en Bao, pudiera ser que no hubiera capital de inversión para la construcción en un futuro, de otras obras para el aprovechamiento total del río Yaque del Norte, y que éstas fuesen más necesarias¹⁶.

Para juzgar mejor la parte económica, se compararon las alternativas Bao-21 y Jagua-21, y **se estudió el rendimiento de la inversión de RD\$ 9.1M en uno de los tributarios del río Yaque del Norte**. Concretamente en la construcción de una presa reguladora en el río Mao, con un embalse de 75.10Mm³ y un volumen útil de 50.10Mm³.

Según los estudios realizados, con costos iguales de inversión, los beneficios resultantes por alternativa, fueron los siguientes:

- | | |
|-------------------------|---------------------------------------|
| 1) Tavera + Bao | Caudal regulado 31.3m ³ /s |
| 2) Tavera + Jagua + Mao | Caudal regulado 41.3m ³ /s |

Es decir, que *si se desarrolla el río Jagua en vez del río Bao, hay un caudal adicional de 10m³/s* para regar el valle del Yaque del Norte. Además, esta solución tiene la ventaja de su desarrollo por etapas más pequeñas, adaptadas a la demanda existente. Y, por lo tanto, una reducción de los costos del capital invertido sin uso.

Por eso, en base a los datos conocidos, los estudios realizados, y las limitaciones de los medios de inversión, se concluyó que **la alternativa Jagua-21, con planta hidroeléctrica en el arroyo Flaire, es más favorable económicamente** que la solución Bao-21, recomendándose por ello hacer un estudio de factibilidad completo sobre la misma¹⁷.

CUADRO AP 5.4.3
CARACTERÍSTICAS HIDROELÉCTRICAS
DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS¹⁸

Variante		B21	J21
Nivel máximo	m snm	325.0	335.0
Cota del centro de gravedad	m snm	311.0	321.0
Caída bruta	m	107.0	117.0
Caída Hs	m	93.0	103.0
Caída neta Hs - hv	m	90.2	97.5
Capacidad instalada	MW	55.0	51.0
Energía primaria E	Gwh	110.0	94.0
Energía secundaria E _s	Gwh	25.3	36.3

¹⁶ LAHMEYER-jaba/ 64.

¹⁷ LAHMEYER-jaba/ 67 y 76.

¹⁸ LAHMEYER-jaba/ 27.

CUADRO AP 5.4.4
ECONOMÍA DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS¹⁹

Variante		B21	J21
1. Rendimiento de la energía (igual costos de una planta térmica)	1000\$	1,431	1,330
2. Rendimiento del riego	1000\$	4,250	2,700
3. Rendimiento total anual	1000\$	5,681	4,030
4. Costos totales anuales	1000\$	3,011	2,295
5. Factor beneficios/costos		1.89	1.76
6. Tipo de interés interno	%	14.4	13.3
7. Beneficios/costos por parte de la energía		1.99	1.52
8. Costos por la producción de la energía	¢/kwh	0.65	0.93

DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA JAGUA-21

Introducción. La presa de Jagua se encuentra a unos 800m aguas arriba de la confluencia de los ríos Jagua y Bao, y directamente sobre la confluencia de los ríos Jagua y Guanajuma. En el sitio de la presa el valle del río, tiene la forma de “V”, y en la vaguada el río tiene un ancho de 5 a 10m. El acceso a la zona es por la carretera de la presa de Tavera.

Se puede construir una **presa de enrocamiento**, usando “andinistas” del Guanajuma. La corona de la presa estaría a unos 88m sobre la vaguada (cota 340.0m snm), 5m sobre el nivel máximo normal de operación (335.0m). La corona de la presa tendría una longitud de 260m, y la presa se podría construir en unos quince meses.

Se prevén *dos diques auxiliares*, con una altura máxima de 15 y 35m, para cerrar dos depresiones que hay a 1 km al este del sitio de la presa principal. Se podrían cerrar ambas depresiones con un dique único, pero se recomienda construir dos diques, que pueden ser mejor cimentados, debido a las condiciones del terreno.

El *vertedero* estaría al lado izquierdo, al oeste de los diques auxiliares. Y consistiría de un azud de 52.0m de ancho, con cuatro compuertas de 12m de altura. Con el nivel del embalse 2m por debajo de la corona de la presa, podría desaguar 5,000m³/s, la avenida máxima probable²⁰.

El *túnel de desvío* se encuentra al lado derecho de la presa, aguas arriba. Tiene unos 420m de longitud total y 8.20m de diámetro. La parte revestida de hormigón (los últimos 250m) servirá como túnel de riego de emergencia. Se diseñó para una avenida de 870m³/s, que se da cada diez años. Y se dimensionó con “salida de emergencia”, para que en un caso de fallar una de las compuertas del vertedero, haya plena capacidad para desaguar las avenidas.

El *túnel de presión*, de 3,200m longitud, y 5.2m de diámetro interior, y 0.5% de pendiente, debe ser revestido con hormigón, estando situado en la loma a la derecha de la presa. El piso de la entrada está a 12.0m debajo del nivel mínimo de operación (cota 285.0m snm). Y al final del túnel tiene una chimenea de equilibrio de cámaras, donde comienza la parte del túnel de presión revestido de acero.

La **central hidroeléctrica** estará en el arroyo Flaire, al lado de la planta hidroeléctrica de Tavera, *teniendo dos turbinas Francis verticales*, de 25.5MW c/u. Y los generadores tienen una capacidad nominal de 32.5 MVA, con cos fi = 0.8.

¹⁹ LAHMEYER-jaba/ 61.

²⁰ LAHMEYER-jaba/ 68-69.

Desvío del río Bao. El proyecto Jagua contempla incorporar las aguas del río Bao y para ello se precisa *construir*

- una presa de 15m de altura en el río Bao, 6km aguas arriba de la confluencia de los ríos Bao y Jagua, y
- un “túnel de desvío” de 600m de longitud y 3.2m de diámetro, desde el río Bao hasta el Jagua. El túnel debe ser revestido, en su totalidad, con una capa de hormigón simple de 40cm de espesor²¹.

**CUADRO AP 5.4.5
ALTERNATIVA JAGUA J-21 - DATOS CARACTERÍSTICOS**

Generalidades	Caudal natural	
	a) Sin río Bao	8.8m ³ /s
	b) Con desvío del río Bao	19.0m ³ /s
	Caudal regulado	13.2m ³ /s
Capacidad del embalse	Nivel máximo	335.0m snm
	Nivel máximo de control por crecientes	335.0m snm
	Nivel útil del embalse	297.0m snm
	Volumen total del embalse	145.0Mm ³
	Volumen útil del embalse	119.0M m ³
Presa	Corona de la presa	340.0m snm
	Altura sobre el cauce del río	88.0m
	Longitud de la corona	260.0m
	Volumen de la presa	1.45.106 m ³
Vertedero	Avenida máxima probable	5,000m ³
	Ancho neto del vertedero	52.0m
	Altura de las compuertas de sectores	12.0m
Túnel de desvío	Capacidad	870.0m ³ /s
	Diámetro	8.2m
	Largo	420.0m
Túnel de emergencia	Capacidad	900.0m ³ /s
	Diámetro	6.6m
	Largo	150.0m
Túnel de presión	Diámetro	5.2m
	Largo	3,200.0m
Casa de máquinas	Cantidad de unidades	2
	Caída máxima bruta	118.0m
	Caída máxima bruta de construcción	103.0m
	Capacidad de las turbinas	2x25.5MW
	Capacidad de los generadores	2x32.0MVA
	Producción de energía:	
	a) Energía primaria	94.0 Gwh año
	b) Energía secundaria	36.2 Gwh año

21 LAHMEYER-jaba/ 71-72.

Desvío del río Bao	Altura de la presa	15.0 m
	Ancho neto de la presa	42.0 m
	Altura de las compuertas	8.0 m
	Diámetro del túnel	3.2 m
	Largo del túnel	600.0m
Costos	Inversión total aprox.	RD\$28,148M
Beneficios	Beneficios totales anuales	RD\$4,030M
	a) por producción de energía H.E.	RD\$1,330M
	b) por producción agrícola	RD\$2,700M

APÉNDICE 5.5

EL RÍO JAGUA EN LOS ESTUDIOS DE LA SOGREAH (1968)

INTRODUCCIÓN

En 1968 se realizaron unos estudios para el desarrollo múltiple de las cuencas de los ríos Yaque del Norte y Yaque del Sur. Se realizaron como un proyecto del PDNU a solicitud del Gobierno dominicano con ayuda del BIRF, seleccionando a la SOGREAH para implementarlos¹.

Los **objetivos** iniciales eran hacer

- *Estudios de reconocimiento para localizar y definir proyectos iniciales de riego en la cuenca del Yaque del Norte y en la del Yaque del Sur.*
- *Estudios preliminares de presas de almacenamiento en el Yaque del Norte y el Yaque del Sur, determinando los sitios más favorables a ser evaluados en los estudios de factibilidad y el orden de construcción de los embalses, y*
- *Establecer estaciones de aforo en ambas cuencas que permitan estimaciones confiables del potencial hidráulico, en el futuro².*

Se modificaron en diciembre de 1966, después de cinco meses de estudios, debido a dificultades locales, resumiéndose así los nuevos objetivos:

- *Se desea que los estudios generales sean paralizados, a excepción de aquellos a punto de terminarse, y*
- *Completar la comparación de los cinco sitios de presa en la cuenca del Yaque del Norte, en la medida en que los datos actualmente disponibles lo permita, indicando el sitio más conveniente³.*

POSIBILIDADES DE EMBALSES Y PRESAS

Se estudiaron nueve sitios de embalses en la cuenca del Yaque del Norte y sus afluentes principales. Algunos tienen poca capacidad de embalse, pero pueden usarse para producción hidroléctrica, ya que las pendientes de los ríos son importantes.

Tal es el caso de *Sabaneta, en el Bao superior*, que tiene una capacidad de embalse total de unos 40Mm³.

1 **Estudios de la SOGREAH.** El contrato se firmó en febrero de 1965, posponiéndose su ejecución hasta abril de 1966, debido a la guerra civil, siendo modificado en diciembre de dicho año debido a otras dificultades locales. Los trabajos de campo y estudios en la RD se desarrollaron entre mayo 1966 y julio 1967, con la colaboración del INDRHI. **SOGREAH 1/1.**

2 **SOGREAH 2/ 1-2.**

3 **Estudios Realizados.** Se hizo un levantamiento topográfico a escala 1:20,000 del embalse de *Jagua* y en el sitio de las presas, y otro de detalle a escala 1:2,000 así como un reconocimiento geológico e hidrológico. Dado que eran estudios preliminares, se limitaron a reconocimientos superficiales, sin implicar estudios geofísicos ni reconocimientos profundos por sondeos, pozos o galenas.

Sin embargo permitieron valorar el costo de las presas en función del volumen de embalse, y realizar un ordenamiento comparativo del valor de los sitios. **SOGREAH 2/ II- 2 y 24.**

Existen **cuatro sitios con suficiente capacidad para programas de desarrollo múltiple**, regulando los aportes de la cuenca del Yaque del Norte, al poder embalsar 100Mm³, o más, de agua:

- 1) *Tavera* en el Yaque del Norte, aguas arriba de su confluencia con el río Bao (150Mm³).
- 2) *Jagua* en la confluencia de los ríos *Jagua* y *Guanajuma* (90Mm³).
- 3) *Inoa*, en la confluencia de los ríos *Amina* e *Inoa* (200Mm³).
- 4) *Monción*, en la confluencia de los ríos *Mao* y *Magua* (100Mm³)⁴.

NECESIDADES DEL VALLE DE SANTIAGO Y EL EMBALSE DE JAGUA

Las necesidades totales de agua en el valle de Santiago (para riego, uso doméstico, industrial y caudales de estiaje) se estimaron en unos 30Mm³ mensuales como mínimo, además de los caudales naturales de los ríos.

Lo que exige *prever embalses por unos 230Mm³ de agua, de los cuales 72M deberían embalsarse aguas arriba de Santiago*. Dato clave para la elección de los sitios de los embalses en el Yaque y sus afluentes⁵.

Una combinación de tres de los cuatro sitios posibles de embalse (*Tavera, Jagua, Inoa y Monción*), tendría capacidad suficiente para cubrir el riego y todas las necesidades de agua del valle en la fase de desarrollo inicial, *con 70,500ha bajo riego*. Y para responder a cualquier pico de demanda de agua y suministrar el 80% de las necesidades de riego en años excepcionalmente secos⁶.

El hecho de que por lo menos *uno de ellos debía estar situado aguas arriba de Santiago*, con una capacidad mínima de almacenamiento de 72Mm³ “eliminaba la combinación *Jagua-Inoa-Monción*” reduciendo a tres las combinaciones posibles⁷.

- 1) *Tavera, Jagua* e *Inoa*
- 2) *Tavera, Jagua* y *Monción*
- 3) *Tavera, Inoa* y *Monción*⁸.

PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EN LAS PRESAS DE EMBALSE

Al comparar los beneficios y costos de las tres combinaciones se concluyó que **si el uso del agua embalsada se utilizara prioritariamente para las necesidades del valle** (incluyendo el riego de 70,500ha), y secundariamente para producir energía hidroeléctrica, *la mejor combinación incluye a Tavera-Jagua-Inoa* (la 1ª alternativa).

En esta combinación *el costo mínimo por m³ de capacidad efectiva se obtendría en Inoa*, por lo que debería construirse la primera, si la producción de energía hidroeléctrica no tuviera preferencia sobre la térmica a igual costo. Y, “considerando sólo el costo mínimo imputable al riego, *Tavera y Jagua* eran más o menos equivalentes”.

La producción de energía eléctrica y riego sólo merece la pena considerarse *en Tavera y Jagua*, ya que son los únicos sitios de presa donde el costo de la energía hidráulica sería similar al de la energía producida por una central térmica (1978).

4 SOGREAH 2/II/23.

5 SOGREAH 2/ II/25.

6 **Desarrollar un cuarto embalse**, totalizando una capacidad efectiva de 312Mm³, permitiría *aumentar el riego hasta 83,700ha*, incluyendo terrenos más elevados en los alrededores de Santiago y en la región de Monte-Cristi. Pero, el costo marginal de las presas de embalse para aumentar el riego en 13,200 ha sería unas dos veces el costo requerido para el riego de 70,500ha (US\$ 770-1.000/ha en comparación con US\$ 420-560/ha).

7 **Eliminaba el embalse de Jaquea combinado con los de Inoa-Monción**, ya que el mayor volumen útil posible del embalse de Jagua es de sólo 5.310m³ (el volumen muerto es de 35 Mm³, y el volumen total de embalse de 94 Mm³).

SOGREAH 2/II-26.

8 **Para elegir la combinación apropiada**, se hizo un cálculo preliminar de los costos de construcción de la presa en cada sitio para diversos volúmenes de embalse. SOGREAH 2/ II-26.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

Sin embargo los estudios preliminares indicaron que *la energía hidroeléctrica, por sí sola, no podría cubrir los costos de inversión en Tavera y Jagua*. Y que la producción de energía hidroeléctrica en las presas de Inoa y Monción resultaría más costosa que en una central térmica en un puerto dominicano⁹.

Si debiera darse prioridad a la energía hidroeléctrica respecto a una nueva central térmica, debería construirse en la presa de Tavera o Jagua, en primer lugar, a pesar del mayor costo por m³ de agua embalsada en dichas presas. De estos dos embalses Tavera es el más estudiado y por lo tanto podría ser construido más rápidamente¹⁰.

CONTROL DE CRECIDAS Y EMBALSES

Para el control de crecidas se estimó que sólo Tavera y Monción proporcionarían un control de crecidas eficaz. Hay *dos alternativas* prácticamente equivalentes.

Si se justificara económicamente una protección completa del valle frente a las crecidas excepcionales, la combinación *Tavera-Inoa-Monción* (la 3^a) podría ofrecer mejores perspectivas que la de Tavera-Jagua-Inoa (la 1^a).

En este caso, el embalse de *Jagua* quedaría descartado para este fin¹¹.

CUADRO AP 5.5.1
CARACTERÍSTICAS Y COSTOS DE LAS TRES PRESAS: INOA, TAVERA Y JAGUA

Presas	Volumen útil (Mm ³)	Altura de la presa (m)	Área regable (II.)	Volumen óptimo anual disponible regularizado (Mm ³)	Potencia instalada (Mw)	Producción anual de energía (Gwh)	Costo ¹ (M US\$)	Costo ² por m ³ almacenado para riego (M US\$)	Costo/ha regable (US\$)	Costo de energía ⁴ (US\$)
INOA	102	64					Presa 7 a 11	Planta HE. ²	0.07 a 0.11	
TAVERA	69	67			77	83	14 a 15	15	0.19 a 0.22	
JAGUA	59	74			70	107	10 a 15	15	0.15 a 0.23	
TOTAL	230		70,500	1,509 ³	147	190	31 a 40	30	0.13 a 0.17	419 a 556 ³

1) Valor actual del capital y costo de operación y mantenimiento (6 % de tasa de actualización).

2) Costo de inversión correspondiente al volumen mínimo de embalse requerido para riego.

3) Basado en el valor actual del capital equivalente considerando una producción equivalente de energía térmica.

4) De los cuales 1,149 hm³ anuales para riego y 360 hm³ para otras finalidades (agua doméstica e industrial, saneamiento del valle).

9 SOGREAH 2/ II-21 y 32.

10 Ebasco (1965 y 1966) propuso la utilización de la *energía hidroeléctrica como prioridad para atender los picos de demanda eléctrica*, implicando presas de regulación secundaria para atender la demanda continua de agua para riego, en base al agua usada con otro horario por las hidroeléctricas.

11 SOGREAH 2/ II-29.

CUADRO AP 5.5.2
COMPARACIÓN DE LAS COMBINACIONES POSIBLES
DE LAS PRESAS DE EMBALSE ESTUDIADAS

	Volumen útil de embalse (M m ³)	Volumen total de embalse (M m ³)	Potencia garantizada (MW)	Potencia Instalada (MW)	Energía anual producible (Gwh)	Costo de Inversión de la presa de embalse (M US\$)	Capital equivalente a la producción de energía H.E. (M US\$)	Costo de Inversión de la presa de compensación (M US\$)	Costo total del aprovechamiento (M US\$)	Capital equivalente a la producción de energía térmica (M US\$)	Costo de inversión en la presa ira. a Irrigable (M US\$)
I/						(Valor mín.)					
TAVERA	69	119	57	77	83.0	14.17	12.03	2.97	29.17	15.97	13.20
JAGUA	59	94	52	70	106.9	10.24	12.03	2.97	25.24	16.27	8.97
INOA	102	122	30	35	58.6	7.30	8.09	3.18	18.57	9.24	9.33
	230		139*	182	248.5	31.71	32.15	9.12	72.98	41.48	31.50**
II/						(Valor máx.)					
TAVERA	69	119	57	77	83.0	15.92	12.03	2.97	30.92	15.97	14.95
JAGUA	59	94	52	70	106.9	14.61	12.03	2.97	29.61	16.27	13.34
INOA	102	122	30	35	58.6	10.90	8.09	3.18	22.17	9.24	12.93
	230		139*	182	248	41.43	32.15	9.12	82.70	41.48	41.22**

* La potencia garantizada ha sido determinada colocando la producción mínima disponible en el curso del año seco decenal en la punta del diagrama de carga de la semana más cargada para el año I 1963. Este diagrama figura en el estudio de la Sociedad EBASCO. Para pasar de los condiciones de 1957 a las de 1983 se ha admitido una tasa de crecimiento de la demanda de 12.5% anual.

** Costo por superficie irrigable = US\$447/ha.

*** Costo por superficie irrigable = US\$585/ha.

APÉNDICE 5.6

MODIFICACIONES SUGERIDAS POR HARZA AL PROYECTO TAVERA-BAO DE LA CDE

La *historia* de la construcción, las modificaciones del diseño dictadas por las condiciones de campo, y la ejecución de varias partes del proyecto se describen en esta sección.

RELOCALIZACIÓN DE UN TAPÓN ERODIBLE

Cuatro depresiones existían a lo largo de la línea de horizonte del embalse de Bao.

El **estudio de la CDE** recomendaba cruzarlas con dos diques. El más pequeño (**Lámina A**) tendría una “estructura permanente”, mientras que el dique de mayor longitud, que cubre tres depresiones, tendría una “sección erodible” (*tapón erodible N°. 2*) en una de ellas, diseñado para ser erosionado cuando el nivel del embalse alcance la cota 329.5m snm.

Harza opinaba que si esto llegase a ocurrir, existía una gran posibilidad de que todo el dique pudiera ser destruido creando una *gran crecida con el agua del embalse* de una magnitud aproximada a la creciente máxima probable. El nivel de los embalses de *Bao y Tavera* descendería a las cotas 300 y 311m snm, respectivamente, y no podrían ser llenados nuevamente, hasta que se reconstruyera el dique paralizando la operación de la central hidroeléctrica de *Tavera*. Las posibilidades de que ocurra esta creciente catastrófica son remotas, pero puede ocurrir por causas naturales o por una operación defectuosa del proyecto.

Para evitar esto, Harza recomendó que fuesen de “estructura permanente, sin provisiones para los caudales de crecientes” los dos diques que cruzasen las cuatro depresiones de la línea de horizonte del embalse de Bao. Y la *relocalización del tapón erodible N°. 2*, del dique mayor a cerca del tapón erodible No. 1, ubicando en esta área toda la capacidad de descarga de crecientes de emergencia, a unos 200m al este del estribo derecho de la presa.

Y propuso, además, que la *estructura para todas las descargas de crecientes de emergencia* consista de dos secciones de tapones erodibles, diseñados para ser erosionados por diferentes niveles del embalse: tapón erodible No. 1, en la cota 330 y tapón erodible N°. 2, en la cota 331. Los dos tapones erodibles descargarán al mismo canal de escape de crecientes, y el nivel de los embalses Tavera y Bao nunca descendería por debajo de la cota 315m snm¹.

CANAL DE INTERCONEXIÓN

El paso inicial en la **revisión del diseño** del canal de interconexión fue estudiar *los requerimientos del canal para descargar las crecientes hidrológicas provocadas por el huracán-modelo*, que tienen un caudal máximo de **8,060m³/s**. Estos estudios indicaron que “cuando la capacidad de conducción del canal disminuye, la capacidad requerida de los tapones erodibles aumenta, y viceversa”.

Se evaluaron las consideraciones geotécnicas y económicas y se determinó que *la solución óptima corresponde a un canal con su nivel más bajo en la cota 311m snm, un fondo de 32m de*

1 HARZA-ISF/ 2. II-7 y HARZA-ISFA/ 3, A-8.

ancho y taludes con un ángulo de 45° (igual a los recomendados por el informe de factibilidad geotécnica de los Dres. Deere y Patton)².

El alineamiento del canal de interconexión *sigue una línea recta* y requirió una excavación casi total en flysch. Mientras que “en el informe de factibilidad era curvo al pasar frente a la falla de Tavera”, donde se podían utilizar taludes de cortes más inclinados en el conglomerado³.

CONEXIÓN FUTURA AL TÚNEL DE ENERGÍA TAVERA

Los estudios del proyecto Tavera-López (1976) indicaron que probablemente se justifique en el futuro hacer una **conexión directa desde el embalse Bao hasta el túnel de energía existente de Tavera**. Su construcción requerirá la *interrupción del caudal de agua a la central hidroeléctrica de Tavera, paralizando la misma por unos tres meses*, cuando se decida construirla.

Por ello se recomendó que construir la toma, la compuerta, y una sección corta del túnel de energía *al mismo tiempo que el proyecto Tavera-Bao*. Esto permitirá la construcción de la conexión en una fecha posterior sin la necesidad de descender el nivel de aguas de los embalses Tavera y Bao⁴.

TÚNEL DE DESVÍO

El **informe de factibilidad** presentaba un *túnel sin revestimiento, de 10.5m de diámetro, dimensionadas para descargar 1600m³/s, sin sobrepasar las ataguías*.

Harza consideró muy conservador usar la descarga de 1600 m³/s, ya que se da cada 70 años, y recomendó adoptar una *creciente de diseño de 1000m³/s*, que se da cada 30 años.

Valor apropiado, considerando que el túnel se usará unos dos años, durante la construcción de las obras de derivación⁵.

Propuso un *túnel de 8m de diámetro, revestido de concreto*. Pues si se dejase sin ningún revestimiento, existía la posibilidad de daños al techo y a las paredes rocosas por la alta velocidad del agua. Mientras que el revestimiento de concreto permitía altas velocidades con seguridad, y no costaría más, ya que se puede reducir el diámetro.

Y recomendó un *alineamiento para el túnel de derivación diferente* del indicado en el informe de factibilidad, pero que es idéntico a la “Alternativa B” del Informe geotécnico de factibilidad de los Dres. Deere y Patton. El alineamiento propuesto para el túnel requeriría unos 370m de excavación, de los que unos 110m serán excavación a cielo.

El diseño final del túnel contemplaba un diámetro de 7.5m revestido de concreto, en línea recta con una longitud de 377.0m. Pero, el portal de entrada tuvo que ser reubicado hacia la loma, por lo que el túnel quedó con una longitud final de 355.9m (HARZA-IF/III-22).

LA PRESA

El diseño propuesto para la presa *es esencialmente el propuesto por el informe de factibilidad de 1972*, con una mayor inclinación del núcleo y los taludes aguas arriba⁶.

2 El **alineamiento del canal de interconexión** indicado en el informe de factibilidad era curvo al pasar frente a la Falla Tavera, donde se podían utilizar taludes de cortes más inclinados en el conglomerado. Debido a la localización restringida del canal de interconexión, el diseño final no producirá resultados con diferencias significativas de los presentados aquí o en el informe de factibilidad. HARZA-ISF/ (3), II-9.

3 HARZA-ISF II-9 y HARZA-ISFA/ A-4.

4 HARZA-ISF/ (4).

5 **Descarga máxima de 1000m³/s**. Esta creciente es aproximadamente igual a la creciente de 1080m³/s registrada en Tavera en 1970, y es mayor que cualquier creciente en Sabana Iglesia durante el período de 20 años, de 1955 a 1974. El análisis de frecuencia de crecientes indica que una creciente de esta magnitud tiene un intervalo de *recurrencia de 30 años*, lo cual es un valor adecuado para criterios de derivación. (HARZA-ISF/ II-11).

6 **Otros cambios importantes** incluyen la adición de una zona de transición, eliminación de todo el material de filtro aguas arriba, reducción del espesor del dren de chimenea y reducción de la longitud del dren aguas abajo. La ataguía aguas arriba, que actualmente tiene un núcleo central impermeable, fue elevada de la cota 268 a la 275 para asumir los resultados de los estudios de la creciente de derivación (HARZA-ISF/ 1,2-3). HARZA-ISF/ II-2.

APÉNDICE 5.7

VERTEDERO DE TAVERA O TAVERA-BAO COMPONENTES PRINCIPALES

El vertedero de Tavera, o Tavera-Bao, es un **vertedero compartido**. El embalse de *Bao* *no tiene vertedero “propio”*, no fue necesario construido porque el exceso de sus aguas podían ser descargadas por el vertedero de Tavera, con la consiguiente economía de recursos.

Está ubicado a la izquierda de la presa de Tavera, y sus componentes principales son los siguientes:

- **Un canal de llegada** que conduce las aguas del embalse de Tavera al vertedero. Está situado en la ladera izquierda del antiguo cauce del río Yaque del Norte. Se fundamenta en roca y es encauzado por una ladera en el lado izquierdo y por un muro de hormigón, a la derecha.
Tiene unos 100m de longitud y una anchura inicial de unos 140m, terminando en el vertedero cuya cresta está en la cota 315.5m snm. La plantilla del canal es horizontal, y está situada en la cota 311.0.
- Un vertedero **cimacio**. El vertedero de Tavera es “tipo cimacio”, con un paramento aguas arriba vertical de 4.5m de altura, medida desde la plantilla del canal de llegada a la cresta del vertedero (cotas 311.0 y 315. 5m snm). El pie del cimacio está en la cota 304.5m snm, de donde sale el canal de descarga.
- **Seis compuertas radiales** (12m de alto x 9.20m de ancho) para control de avenidas. El *caudal máximo a verter es 6,000m³/s*, por las seis compuertas, que corresponde a una crecida diezmilariaria.
A todo esto hay que recordar que el caudal máximo que no ocasiona grandes daños aguas abajo se estima en 800m³/s, por encima del cual pueden ponerse en peligro estructuras civiles aguas abajo de presa¹.
- **Dos compuertas plegables** (7.50m de ancho x 3.50m de alto) para desaguar caudales menores, que están situadas en el centro del vertedero. El labio inferior de las compuertas está en la cota 324.0m snm.

Y un **canal de descarga**, de hormigón, conduce el agua del vertedero hasta el río. En su parte inferior tiene un trampolín que disipa la energía, dispersando el agua y alejándola de la zona de caída natura, para evitar daños al pie del talud, aguas abajo de la presa².

1 HYDROCOMP Cfr. RAMÍREZ.

2 RAMÍREZ-IIB/ 1-4.

APÉNDICE 5.8

CRECIDA DEL MODELO DE HURACÁN Y VERTEDEROS DE EMERGENCIA

El período del año con mayor frecuencia de huracanes y tormentas tropicales es, normalmente, la época en que *el nivel de las aguas de los embalses es el más bajo del año*. En los meses de septiembre-octubre, o después de la temporada seca (junio-agosto).

En caso de estar el nivel del embalse de Tavera-Bao en la cota máxima de operación (327.5m), y preverse que el huracán pasará por el área, se debe *bajar dicho nivel inmediatamente, vaciando el embalse por el vertedero de Tavera* hasta la cresta del vertedero (315.5m), lo que tomaría unas 30 horas.

Por lo que es necesario disponer de un *sistema eficaz de advertencia de huracanes para poder pronosticar con 30 horas de antelación* si un huracán llegará o no al área de los embalses.

Y si la crecida del modelo de huracán llega al área de Tavera-Bao con las aguas del embalse en la cota 315.5m, prácticamente vacío, el embalse se irá llenando con las aguas de la crecida pudiendo llegar a recibir irnos 242Mm³.

A las 13 horas después de haber comenzado la crecida el nivel de las aguas del embalse puede subir por encima de lo 331.0m (elevación máxima excepcional, superando el borde libre de 1.5m por encima del nivel máximo) y “las aguas pasarían por el vertedero de Tavera con un pico de 6,900m³/s”. De ahí la necesidad de vertederos adicionales de emergencia para disponer de las aguas excepcionales de estas crecientes.

Si el **vertedero de emergencia** entra en operación tan pronto como el nivel de las aguas llegue a la elevación de 331.0m, el vertedero de emergencia podría descargar 7,300m³/s inmediatamente, *y retardar la subida del nivel de las aguas*.

El funcionamiento del vertedero de Tavera y de los vertederos de emergencia *reducirían la crecida pico de 15,073m³/s*, en caso de darse ésta. Pero, en todo caso, la descarga total de las aguas de la crecida *seguiría siendo extremadamente alta y causaría daños catastróficos río abajo* en el valle del Cibao y en la ciudad de Santiago.

De ahí la importancia de *asegurar que las presas de Tavera y Bao no sean rebosadas por las aguas de su embalse*.

Los **vertederos de emergencia del embalse de Bao** pueden *entrar en operación “simultánea o “sucesivamente”* con el vertedero de Tavera, a medida que vaya aumentando la descarga de la crecida.

Fueron diseñados para ayudar a descargar las crecidas provocadas por el modelo de huracán, pero tienen también *capacidad para dar paso a crecidas intermedias entre las descargas máximas de la crecida de huracán y la crecida de 10,000 años* (15,037m³/s y 8,055m³/s, respectivamente), es decir para descargas de unos 7,300m³/s, bajo el supuesto de que los vertederos de emergencia no se abren sino cuando el vertedero de Tavera llega a su capacidad máxima excepcional¹.

1 CDE-II2/-49-53.

Están localizados en una hondonada natural, a 400m más allá del estribo derecho y son *dos vertederos libres*, cortados a través de la loma, con sendos *tapones erodibles* de 45m de ancho, en las cotas 315m y 318.5m, y con una porción de roca entre los mismos.

El agua que circule por los mismos correrá por dos quebradas y el canal natural *desembocando al lecho principal del río*, 400m aguas abajo del pie de la presa y aguas abajo de la salida del túnel de derivación².

2 El Estudio de la CDE (1972) recomendó dos vertederos de emergencia, denominados “primarios” (con capacidad para desalojar 2,642m³/s de agua) y otro “secundario” (con capacidad para descargar 4,340m³/s). En caso de fuertes crecidas que sobrecargarán la capacidad del vertedero de Tavera, se debería abrir primero el vertedero de emergencia primario, y si este no bastara, se abriría entonces el vertedero de emergencia secundario. Ninguno de ellos tenía capacidad suficiente para canalizar toda la crecida de huracán, por lo que los dos eran necesarios. CDE-112/ 53-55.

HARZA-ISFA/B-42.

APÉNDICE 5.9

RED DE INSTRUMENTACIÓN EN LA PRESA Y DIQUES DE BAO

INTRODUCCIÓN

Su finalidad es tener el control exacto de la presa *para una operación segura del embalse* y aumentar al máximo la vida útil del proyecto.

La red de instrumentación comprende **ocho tipos diferentes de instrumentos** para controlar y registrar las condiciones y los cambios específicos dentro del área inmediata de la obra. Y de la adecuada operación y mantenimiento de todos ellos depende la exactitud y confiabilidad de los datos obtenidos¹.

INSTRUMENTOS UTILIZADOS

1. **Piezómetros.** 43 piezómetros neumáticos se ubicaron en las fundaciones y estructuras de la presa principal y los diques, para controlar las presiones de agua dentro de los poros. Y ocho piezómetros adicionales están ubicados en el área adyacente. Las presiones de agua dentro de los poros *indicarán la impermeabilidad y estabilidad de las estructuras y sus fundaciones.*
2. **Pozos de observación.** Se instalaron once pozos de observación en sitios adyacentes a varias áreas del proyecto *para controlar los niveles de agua subterránea.*
3. **Vertederos y agujeros de drenaje.** Se colocaron vertederos en los portales de las cinco galerías *para medir el grado de filtración acumulado por las cortinas de drenaje* en los estribos de la presa y de los diques. El registro exacto del flujo de drenaje ayudará a determinar *la permeabilidad total de los estribos y la ubicación de los recorridos de flujo privilegiado.*
4. **Análisis químico del agua.** *Para detectar la posible disolución del estribo,* deben colectarse muestras de agua del embalse, de los pozos de observación, del drenaje de las galerías y particularmente de los agujeros de drenaje de flujo alto, y del drenaje de los colchones de drenaje de la presa y los diques. Las muestras de agua del embalse deben tomarse de profundidades de las cotas 320 a la 250, cada 10 metros, debajo de la superficie del agua.
5. **Células de esfuerzo total.** Hay cinco células de esfuerzo total en la presa principal y una ubicada en el dique. Se colocaron las células en las máximas secciones de las estructuras con el fin de medir los esfuerzos totales horizontales por debajo del estribo. Los datos de las células de esfuerzo indicarán *si se está produciendo o no un arqueamiento en el valle inferior estrecho* del medir el asentamiento de la presa principal consiste de cuatro instrumentos de asentamiento líquido,

¹ Los tipos y ubicación de los instrumentos se muestran en HARZA-MOM, Apéndice A. Y en la Tabla 1 se resumen de los principales requisitos de mantenimiento.

dos artefactos de asentamiento tipo USBR y doce monumentos de asentamiento *núcleo impermeable de la presa principal*.

6. **Instrumentación de asentamiento.** La instrumentación para medir el asentamiento del dique principal consiste de nueve monumentos de asentamiento, colocados a lo largo de la cresta del dique, *que miden la consolidación de la presa y el dique principales*. Y ayudan a *evaluar las deformaciones* laterales de la cresta de la presa y el dique principales.
7. **Instrumentación sísmica.** Consiste de tres registradores de movimiento intenso colocados en la presa y el dique principales. Son pasivos y no requieren ninguna fuente de movimientos intensos. Y de dos acelerógrafos de movimiento fuerte de potencia eléctrica quedan como reserva basta que se detecte el movimiento de suelo. Los datos registrados son esenciales para la *evaluación de los efectos sísmicos sobre la presa y el dique*².
Incluye una red micro-sísmica, constituida por 15 estaciones distribuidas por gran parte del país y equipadas para detectar *nñcrosísmicos*. La estación central se encuentra en la Loma Juana Núñez, Baitoa, y hay una estación repetidora en la Naviza, Cotuí.
8. **Las galerías de drenaje** fueron provistas para *prevenir el desarrollo de altos niveles freáticos que pudieran crear condiciones inestables* en los estribos de la presa y en las fundaciones. Desde ellas se pueden establecer cortinas de drenaje para controlar, coleccionar y medir el agua de las filtraciones. Su construcción supuso un volumen de 5,934.30m³ de excavación, y 238.78m³ de concreto en las zonas que requirieron revestimiento.

2 HARZA-MOM/ II, 1-5.

APÉNDICE 5.10

RELOCALIZACIÓN DE LAS FAMILIAS DEL ÁREA DEL EMBALSE DE BAO

La construcción del **embalse de Bao y su canal de interconexión** con el de Tavera, requirió, inundar unos **10km²**, que estaban habitados y trabajados por unas 500 familias.

Por eso ya en el *contrato de préstamo* del BID para la ejecución del proyecto se estipulaba en una de sus cláusulas que el GORD/CDE, como ejecutores del mismo, debían de tomar las medidas necesarias para el reasentamiento y/o indemnización de las personas desplazadas del área a ser inundada por el embalse de Bao.

Proyecto que incluía un *presupuesto de unos RD\$10M* para la compra de los terrenos de la zona del canal y del embalse, así como de las tierras donde los campesinos serían asentados y dotados de los servicios esenciales. Presupuesto que se incrementó a RD\$15M¹.

La meta era que fueran asentamientos controlados donde las familias se pudieran estabilizar y elevar su nivel de vida a través de la dotación de tierras, riego, viviendas, educación, agua potable y otros servicios básicos².

Al igual que en el caso de Tavera, la reubicación prevista de la población de ambas zonas no se implementó a su debido tiempo, retrasando la ejecución de las obras. No se realizó hasta que llegó la fase crítica las obras del canal de interconexión y del embalse de Bao, momento en que se hizo impostergable proceder a la relocalización de los pobladores de esas áreas, obligando a tomar acciones inmediatas y a corto plazo.

REASENTAMIENTO DE LOS POBLADORES DEL CANAL DE INTERCONEXIÓN TA VERA-BAO

Meses después de que se hubieran iniciado las obras de ingeniería del canal de interconexión, las zonas de trabajo seguían habitadas, por lo que se ordenó hacer su relocalización *en el plazo de “un mes”*.

Debido a la urgencia con que se necesitaba realizar el canal de interconexión, se compraron terrenos cercanos a la población de *el Flaire*, dando *2-3Ta de terreno a cada familia y una ayuda para la vivienda*, así como asesoría agrícola para evitar la erosión de las tierras, mermando su productividad. Los campesinos mejoraron su situación respecto a la anterior, ahora todos eran propietarios, pero 2-3Ta (menos de 0.2ha), sólo servían para subsistir.

Cuando se preparó el informe de Sánchez Córdova se hizo énfasis en que la reubicación de las familias establecidas dentro del área destinada al canal de intercomunicación Tavera-Bao debía hacerse *en el plazo de “un mes”*³.

1 **Presupuesto de RD\$15 M** que incluía la compra de terrenos en la zona del embalse y para la reubicación en La Canela, así como para viviendas, riego por aspersión, programas educativos, infraestructura e imprevistos. **S. CORDOVA/31.**

2 **S. CORDOVA/ 10.**

3 **S. CORDOVA/ 4.**

Se consideraron cuatro alternativas:

- 1) *La zona del Caimito*, preferida por los desalojados. Pero descartada, ya que la multiplicación de conucos en las lomas “agudizaría la erosión y la sedimentación”, por encontrarse en el firme de los embalses de Tavera y Bao.
- 2) *En la zona de La Zanja, Sabana Iglesia, Baitoa o Jánico*. “Requería más tiempo y dinero para la adquisición de las tierras (RD\$500.00/Ta, o más), y su producción agrícola era de secano”, dificultando la estabilidad de los asentamientos. Por lo que fue también descartada.
- 3) *Un área cercana al embalse de Bao*, en Yerba de Culebra. Comprendía unas 500Ta ya adquiridas por la CDE y el traslado de las familias podía realizarse en corto tiempo debido a su cercanía. Pero “su cercanía al embalse de Bao, vetó que fuera elegida”.
- 4) *Y el Flaire*, en un terreno a adquirir, en el lado contrario de la carretera que bordea el embalse o canal de interconexión Tavera-Bao.

Se decidió hacer la reubicación en el Flaire, comprando unas 300Ta para alojar unas 100 familias, y ayudarles a reforzar los servicios e instalaciones comunitarias del poblado del Flaire.

Un 10-20% de las familias desalojadas percibieron una compensación de unos RD\$2,000.00, o más, en efectivo. De ellas un 20% compraron un lote de 2-3 tareas y construyeron una casa rural de unos 50m². Y el 80% restante de las familias que recibieron compensación en efectivo no pudieron hacerlo⁴.

REASENTAMIENTO DE LOS POBLADORES DEL EMBALSE DE BAO

Meses después de que se hubiesen iniciado las obras del embalse de la presa de Bao las zonas de trabajo seguían habitadas, también aquí, haciendo imposterizable su reasentamiento por la vía rápida⁵.

Para ello hubo que **expropiar unos 10km²**, que estaban habitados por unas 534 familias. La mayoría eran agricultores y un 70% de ellas se dedicaba a una “agricultura de subsistencia” (disponiendo de sólo 10-20Ta de tierra, con pendientes de un 30% promedio y métodos de cultivo arcaicos), careciendo de otros medios de ingreso adicional⁶.

Se evaluaron **tres alternativas para el reasentamiento**, todas ellas en la provincia de Santiago:

- 1) en los valles intramontanos de la Cordillera Central 2) en las zonas arroceras y 3) en la zona de Las Charcas, Pastor y La Canela⁷.

Y se decidió hacer la **reubicación a Villa Bao, en La Canela**, a 15km de Santiago, en la terraza alta del río Yaque del Norte, en una zona con clima y relaciones regionales similares a las de Bao. Se compraron 29,600Ta, mediante declaración de utilidad pública e interés social, y su extensión

4 **S. CÓRDOVA/ 6-9.**

5 **Retrasos en la reubicación.** Los informes de Sánchez Córdova y Eduardo Brenes (1979) insistían en la necesidad de llevar a buen ritmo la reubicación para poder completarla en 1981, como se había programado. Y en 1982, un año después de la fecha programada, se urgía de nuevo que se completara la relocalización a finales de dicho año, haciéndose posteriormente.

Se hizo todo lo posible para contar con los recursos necesarios para la reubicación a su debido tiempo, para *no repetir las experiencias de los proyectos de Tavera, Sabana Yegua, y Rincón*, pero no fue posible.

6 **S. CORDOVA/ 19.**

7 **Las Charcas, Pastor y La Canela.** Dentro de esta zona de la región de Tavera-Bao, la opción se concentró en 1) *las Charcas*, lugar favorable para un asentamiento y cultivos intensivos, a unos 10km de Santiago, y a poca distancia de Jánico y Sabana Iglesia, y 2) *en el distrito de riego, al norte de Santiago*. Las obras de infraestructura agrícola para las familias a reubicar ya estaban realizadas o en vía de realización, y sus terrenos estaban regados por las aguas derivadas del complejo Tavera-Bao.

En ambas alternativas la población reasentada podría disfrutar de los beneficios de las obras que motivaron su relocalización **S. CORDOVA/ 18.**

permitió hacer la reubicación en un área única haciendo 534 parcelas de unas 50Ta cada una, para entregar a los campesinos relocalizados⁸.

Sus suelos se dedicaban a la agricultura intensiva, cuando disponían de riego. Y siendo tierras localizadas al sur del *Canal Monsieur Bogaert* podían bombear agua de dicho canal para el riego, sugiriéndose el riego por aspersión que el Canal M. Bogaert estaba superutilizado y su agua quizás no pudiera garantizar el riego por gravedad.

Las familias que cualificaban para el asentamiento, tanto en la reubicación del área del embalse como del canal de interconexión, se recomendó que fueran aquellas cuya compensación en efectivo por el desalojo fuese menos de RD\$2,000.00⁹.

Reubicación que se hizo con la **colaboración de cuatro instituciones**:

- **El IAD**, que elaboró el proyecto de reasentamiento, según la Ley de Reforma Agraria (1962), a título de indemnización. Y que debería ayudar a los asentados a decidir los programas de uso y cultivo de la tierra, dándoles apoyo, financiero y administrativo. Así como contratar a los reasentados para los trabajos iniciales de construcción de caminos, desmonte, etc. Y dar especial asistencia a las reubicadas con carácter de urgencia¹⁰.
- el **INSTITUTO NACIONAL DE LA VIVIENDA (INVI)** con la ejecución de viviendas y servicios.
- la **SECRETARÍA DE ESTADO DE SALUD PÚBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL (SESPAS)** con los servicios de salud, y
- el **INSTITUTO NACIONAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO (INAPA)** con la construcción y habilitación de los servicios de agua.

Además de los préstamos a los campesinos otorgados por el Banco Agrícola y diversos servicios por otras instituciones. Con el asentamiento en pleno funcionamiento se esperaba conseguir un *ingreso familiar de unos RD\$3,000 anuales*.

8 **Se procuró evitar que se repitiera la situación de el Flaire.** Máxime que los terrenos que rodean al embalse de Bao son más quebrados, sus lomas estaban más pobladas y sus métodos de cultivo ocasionarían una mayor erosión hacia el embalse.

La no previsión a tiempo del reasentamiento de las familias afectadas por la construcción del embalse de Tavera, obligó a los desalojados a buscarse un lugar donde establecerse, haciéndolo la mayoría de ellas en la divisoria de las aguas de los embalses Tavera y Bao, incrementando la erosión y la sedimentación del embalse de Tavera. Por lo que en 1974 la SEA, el INDRHI y la Misión China prepararon un “Plan modelo para la conservación de suelos en la cuenca de Tavera”.

Por otra parte, hubo que desalojar, en varias ocasiones, a gente que se asentó, por su cuenta, en la zona del aliviadero y del acueducto viejo de Bao, cerca de Sabana Iglesia, zonas que no se usan ordinariamente, pero que si hay necesidad de verter agua por el aliviadero, lo que puede ocurrir en cualquier momento, ocasionaría una tragedia, para las familias que se alojen en esa zona.

Sus suelos son de la “serie canela”, de topografía llana a suavemente ondulada, profundos, de buena fertilidad, con drenaje de bueno a moderado. La parte elevada fue utilizada para construir Villa Bao y una finca de energía. Sus limitaciones, por la distribución de las lluvias, pueden ser superadas con canales de riego y buenos drenajes, riego por aspersión y prácticas de conservación. IAD-CDE.

BRENES/ 4 S. CORDOVA/ 1-3 y 22.

Brenes (Eduardo Brenes Mata) era jefe de reubicaciones del Instituto Costarricense de Electricidad, y fue contratado por la CDE con ocasión de la relocalización de los pobladores del embalse de Bao.

9 **S. CORDOVA/29.**

10 **IAD-CDE/ 4.**

APÉNDICE 5.11

OPERACIÓN ÓPTIMA DEL EMBALSE DE BAO (Plan de operación del embalse)

INTRODUCCIÓN

El objetivo del plan de operación del embalse Tavera-Bao es satisfacer al máximo las necesidades de energía hidroeléctrica, *riego, control de crecidas* y otros usos de las aguas del embalse.

Busca un *manejo racional, eficiente y tecnificado del embalse*, tanto de las partes hidrológicas como de las mecánicas y eléctricas instaladas en el proyecto. E incluye un plan de mantenimiento de todo ello¹.

Operación del embalse que consiste en el *conjunto de decisiones a tomar y ejecutar* para que cumpla las funciones a que está destinado. Y hay dos tipos de operación:

- *La operación normal*, que se hace en condiciones normales, y
- *La operación extraordinaria*, que se realiza bajo condiciones excepcionales de crecidas. Comprende el uso y manejo de las obras de excedencias de la presa, teniendo en cuenta la seguridad de las obras del proyecto, y la seguridad aguas abajo.

El diseño de la operación óptima del embalse se hizo usando un modelo matemático de “programación dinámica”, con computadora, *para determinar la combinación que proporciona la producción máxima de energía, riego y otros servicios* que debe prestar el embalse.

Para el análisis se utilizó un registro histórico de 168 caudales mensuales².

PLAN DE OPERACIÓN DEL EMBALSE TAVERA-BAO INFORMACIONES REQUERIDAS (1984)

El plan de operación del embalse Tavera-Bao se diseñó tomando en cuenta las características de los embalses de Tavera y Bao (curva de elevaciones, volúmenes, rendimiento de turbina, vertedor de servicio, canal de Interconexión y otras).

Básicamente los **dos tipos de informaciones** que se trataron en la definición del manual de operación se refieren a los aportes de caudales y las demandas de riego, hidroelectricidad y otras.

- *Caudales de ingreso*, curva de duración de los caudales combinados entrantes a Tavera-Bao, fruto de una generación sintética de 99 años.

- *Demandas de*

Riego. Se generaron las demandas de riego para 99 años, a partir de cinco años de datos de demanda media mensual. Demanda que fue asignada a nivel diario, repitiendo la demanda promedio del mes a cada día.

1 HARZA-MOM 1/ 1-2.

2 **Modelo matemático de “programación dinámica”**. Es un proceso de decisiones en múltiples etapas, donde cada etapa está representada por un mes. Y la programación dinámica provee un procedimiento por etapas consecutivas de optimización, para el que se ha preparado un programa de computadora. CD21I/ 37.

Agua potable e industrial abajo del embalse, que se estimó en 1.4m³/s para Santiago, Moca y poblaciones vecinas (1984).

Ecológica, para cumplir con las necesidades del cauce, aguas abajo de los embalses, se consideró en 4m³/s (duplicando el estimado de Hydrocomp de 2m³/s).

Demanda Total. Suma de la demanda de: agua de riego + agua potable + requerimientos ecológicos del cauce. Su distribución se hizo conforme a los caudales entrantes, la variabilidad de las necesidades y las condiciones climáticas de la zona³.

ESTUDIO DE OPERACIÓN Y PRODUCCIÓN DEL COMPLEJO TAVERA-BAO (Hydrocomp)

En 1980 la CDE contrató a Hydrocomp un estudio de operación y producción del complejo Tavera-Bao. Estudio que *analizó la operación del sistema Tavera-Bao y su capacidad para satisfacer* las demandas futuras tanto de riego como de energía, y la regulación del contraembalse de López.

El programa de Hydrocomp *simula el funcionamiento del embalse conjunto en condición normal del complejo Tavera-Bao* a nivel diario, para una política de operación previamente seleccionada, y tomando como partida caudales de ingreso y demandas conocidas.

Considera tres situaciones de operación:

- *Caso presente*, "durante la construcción de la presa de Bao", solo operaba el embalse de Tavera generando 20MW durante cuatro horas por la mañana y 40MW durante durante cuatro horas por la noche⁴.
- *Sin expansión*, "funcionando Tavera+Bao", y generando 80MW durante cuatro horas diarias, ampliadas luego a seis horas.
- *Y con expansión*, aumentando la producción eléctrica a un total de 180MW, durante cuatro horas de generación diaria por el complejo Tavera-Bao, al añadir 100 MW en la presa de Bao⁵.

Este programa ha sido usado para preparar la guía de operación del complejo en condición normal para una gama de situaciones, para caudales de ingreso en diferentes condiciones del embalse y para diferentes de demandas de riego.

REGLA DE OPERACIÓN DEL EMBALSE TAVERA-BAO

Dos tipos de demanda se consideran en el estudio de operación:

- la *demanda total* (riego + acueducto + requerimientos ecológicos) es constante, y en 1993 se estimó en: riego (24.50m³/s), acueducto (3.5m³/s), cauce (4.0m³/s),
- la *demanda de energía corresponde a 480MW* al día, por la generación de 80MW durante seis horas diarias.

La regla de operación **contempla**:

1. Satisfacer *todas las demandas*, siempre que el volumen de agua disponible en el embalse lo permita.

³ RAMÍREZ-IIC/ 6-10.

⁴ RAMÍREZ-IIC/ 4

⁵ El estudio de Hydrocomp de producción de energía fue revisado en 1983 por la CDE en base a nuevos caudales generados, respecto a la generación 80MW durante seis horas diarias en Tavera-Bao. Es decir en el "caso sin expansión".

2. Turbinar *toda la demanda de riego*, dado el funcionamiento del contraembalse de López. Así, la demanda a entregar es la mayor entre la total y la de generación. Este es el caso donde no hay déficit.
3. Puede darse un *déficit de entrega de agua, por incapacidad del canal de conducción*, aun con suficiente agua disponible en el embalse, si la demanda total es mayor que la capacidad de conducción del mismo (40m³/s).
4. Si el agua acumulada al inicio de un período, más los aportes durante el mismo, no pueden satisfacer las demandas, se crea un déficit para el riego, la generación o para ambos. En este caso, *cuando no se pueden satisfacer las demandas, se debe entregar toda el agua disponible, según las prioridades que se tengan, sin bajar del nivel mínimo de operación (cota 300m)*.
5. Y, cuando el volumen almacenado al inicio del día, más los aportes de ese día, *sobrepasa el nivel máximo de operación, el volumen excedente se debe turbinar ese día*, generando 80MW el mayor tiempo posible. Y si aún así, al final del día el nivel del agua vuelve a sobrepasar la cota indicada, el exceso se almacena para turbinarlo al día siguiente y si fuere necesario en los sucesivos⁶.
6. El *vertido, para mantener el nivel por debajo de la cota 320m, sólo se produce cuando hay aviso de un huracán* que podría afectar la zona.
7. Y en temporada no ciclónica cuando el volumen de agua sobrepasa el nivel máximo de operación (327.00m), *se cambia la turbinación a generación de 80MW el mayor número de horas posible*. Y si sobrepasa las 24 horas del día, se evacua el agua *por el vertedor*⁷.

OPERACIÓN EN CRECIDAS

Introducción. Hay épocas del año en las que se esperan grandes crecidas que ingresarán en los embalses. Crecidas que *deben ser manejadas adecuadamente*, sobre todo en embalses de fines múltiples, para que sus volúmenes de agua aumenten las reservas de los embalses y posteriormente puedan estar disponibles para los fines deseados.

De ahí que se presente una decisión conflictiva a los encargados de dirigir la operación las compuertas de los vertederos de las presas durante la ocurrencia de crecidas, particularmente en las presas con embalses relativamente pequeños, y sin sistemas de predicción.

Si se operan en forma conservadora se asegura la presa, y los bienes aguas abajo de ella (camino, puentes, carreteras, zonas agrícolas, otros, y sobre todo, vidas humanas). Pero, existe la posibilidad de que se desperdicie agua innecesariamente, que podría ser usada más tarde para generación o riego⁸.

Y si el manejo es *audaz*, buscando retener y optimizar al máximo los volúmenes de agua que traen consigo las crecidas, para generar electricidad más abundante y más barata, además de garantizar más riego y otros servicios, se puede poner en peligro las estructuras físicas de la presa. Y provocar cuantiosos daños aguas abajo, si hay una descarga conjunta de las aguas acumuladas, por no haberlas liberado antes en flujos menores.

Por ello es necesario *establecer normas para la operación racional de las compuertas* de las obras de excedencias en presas⁹.

⁶ Nivel máximo de operación: 320m en temporada ciclónica, y 327.50m el resto del año. *Durante la temporada ciclónica*, 30 de junio al 30 de noviembre de cada año, los embalses deben mantenerse por debajo de la cota 320m, cota que es el nivel máximo de operación para dicho período. **RAMÍREZ-IIC/ 12.**

⁷ **RAMÍREZ-IIC/ 8-9.**

⁸ **Hay un costo de generación de vaciar el embalse innecesariamente.** Para bajar los embalses de Tavera y Bao *de la cota 220.00 a la 317.00m*, habría que desaguar unos 37Mm³ de agua, para lo que se necesitarían 239 horas, unos diez días. Y la energía total dejada de producir con esa agua, trabajando sobre esa base, sería de 19,100 MWH.

De ahí la *necesidad de seguir mejorando la regla de operación*, que sea algo menos conservadora que la actual, sin que le reste seguridad. **RAMÍREZ-IIC/ 10-11.**

⁹ **RAMÍREZ-IIC/ F.**

Se precisa **implementar políticas de operación para garantizar** que la avenida a manejar

- *no cause daños innecesarios*
- *no ponga en peligro la seguridad de la presa y obras conexas, y*
- *se procure siempre aprovechar adecuadamente los volúmenes de agua que ingresan a los embalses.*

Y por ello, *a raíz de la construcción del embalse de Bao*, se elaboró un manual para la operación y mantenimiento de dicha obra y de todos los componentes que la integran, por Harza y CDE¹⁰.

OPERACIÓN PARA AVENIDAS FRECUENTES¹¹

Generalidades. Las avenidas frecuentes son *aquellas cuyos períodos de retorno es menor de 50 años*, y por su magnitud *no ponen en peligro la presa*.

Pueden producirse en cualquier época del año, pero en la cuenca de Bao y Tavera, *ocurren mayormente en noviembre-diciembre*, debido al frente norte. En todo caso el manejo de las crecidas en el complejo Tavera-Bao con el criterio de “operación para avenidas frecuentes” sólo debe ser *aplicado fuera de la época de huracanes*.

Durante estas avenidas *el modo de operar el complejo es menos conservador que en la época de huracanes*, y las compuertas son operadas manteniendo el nivel a punto de derramar. De ahí que se ajuste más a avenidas aisladas con picos relativamente bajos, a avenidas frecuentes con períodos de retorno entre 5-50 años. Y el método puede ser aplicado aún a dos crecidas sucesivas, siempre que se aplique tomando en consideración esta circunstancia.

Criterio que también parece ser *válido para las crecidas originadas por el frente norte*, que ocurren en el país de diciembre-marzo.

El objetivo de la operación del embalse, dado que no hay problema de seguridad de la presa, por la magnitud de la avenida, *es aprovechar al máximo los volúmenes de agua ingresados en el embalse por la crecida*, pues se pueden convertir en energía eléctrica y otros servicios valiosos para la población. Y procurar minimizar los daños producidos aguas abajo de la misma por los volúmenes que pudieran derramarse por las obras de excedencias¹².

Los **datos requeridos** para aplicar el método que indica el manual para la operación del embalse son

- Tabla de las elevaciones-volúmenes en el embalse.
- Descarga por el vertedor de Tavera y para una compuerta.
- Nivel inicial en el embalse al presentarse la avenida, o al tomar la decisión.
- Nivel máximo extraordinario de las aguas (329.80m) que no debe ser sobrepasado bajo ninguna circunstancia).

Se **requiere una predicción de la crecida a manejar**. Como no se conoce a priori la avenida que se va a presentar, o que se está presentando, debe hacerse una *predicción* de la misma basada en algún criterio conocido. La mejor sería mediante algún modelo de lluvia, con un sistema de tele-

10 El **manual para la operación y mantenimiento** fue realizado por Harza, la firma diseñadora y supervisora de la presa de Bao y obras anexas, salvo el capítulo de operación de embalses, tanto en época normal como en época de crecidas, que lo elaboró la CDE.

Dado que el embalse de Bao funciona intercomunicado con el de Tavera, el manual de operación se convirtió en un *manual para los dos embalses*. Es el primer manual de operación de presas que enfocó en RD el problema de la operación de crecidas. **RAMÍREZ-IID/ G-H**

11 **Las crecidas frecuentes**, al igual que las de provocadas por los huracanes, *exigen criterios específicos* a la hora de operar los embalses.

12 **Daños producidos aguas abajo**. Si bien el gasto máximo al verter, aun para aquellas crecidas consideradas con Tr de 25 o 50 años, *no pone en peligro vidas humanas, ni importantes bienes materiales*.

transmisión hidrológica, pero, dado que no se dispone de dicho sistema, habrá que hacerlo usando los registros de los niveles en el embalse.

Se recomienda tener *dos o tres alternativas de predicción de la posible crecida* que va a llegar, o que está llegando, y conocer el caudal máximo a verter para cada una. Y, en caso de que una predicción sea incorrecta, hacer los cambios sobre la marcha. La información que se necesita, básicamente, es la historia reciente de la evolución de niveles, en las últimas tres o cuatro horas¹³.

OPERACIÓN EN ÉPOCA CICLÓNICA

Introducción. La operación para la época de huracanes es *más conservadora* que la de las demás épocas, dada la magnitud de sus crecidas y los daños que conlleva, incluso para la presa. La producida por la precipitación máxima probable de los huracanes, por ejemplo, llenaría completamente el embalse de Bao en 24 horas, si lo encontrase vacío y sin capacidad de descarga¹⁴.

De ahí que durante los cinco meses de la época de huracanes los embalses de Tavera y Bao deben ser *manejados con todo rigor*, con el criterio de “operación en época ciclónica”.

Durante toda la época ciclónica, los embalses deben ser mantenidos por debajo de la cota 320.00m. Y, si se rebasara dicho nivel, deben ser bajados a esa cota, tan pronto sea posible.

Si los dos embalses están en la cota 317.00m al iniciarse la crecida, las crecidas máximas probables entrantes a los embalses de Tavera y Bao, pueden ser atenuadas sin sobrepasar la corona de la presa. Bajo estas condiciones, los niveles que se alcanzan al pasar la PMF son 330.91 en Tavera y 331.01m en Bao, estando la corona de ambos embalses en la cota 332.50¹⁵.

Cuando se anuncie que un *huracán se encuentra a 300m* del borde de la cuenca, *abrir completamente el vertedero* del embalse de Tavera.

REGLA PROPUESTA PARA OPERAR LOS EMBALSES DE TAVERA Y BAO DURANTE LOS HURACANES

Precipitación máxima probable y avenida máxima probable

La precipitación máxima probable (PMP) es la *más severa combinación de los aspectos meteorológicos y climáticos que se pueden producir en una cuenca*. Es un concepto usado en el diseño de aquellas obras que debido a su magnitud, sus fallas podrían tener desastrosas consecuencias¹⁶.

La avenida máxima probable (PMF) es producida o provocada por la PMP, siendo el *resultado del tránsito de la PMP por el sistema de cauce de la cuenca*. La PMF para Tavera y Bao fue obtenida por Hydrocomp¹⁷.

¹³ RAMÍREZ-IID/ 1-2 y 26.

¹⁴ **Época ciclónica.** Ver en el capítulo del clima.

¹⁵ **Estudios de Harza** para el diseño de las obras de excedencias del embalse de Bao. Estudios que tuvieron en cuenta la “regla de operación” mencionada más abajo.

¹⁶ **Precipitación máxima probable.** Esta lluvia puede ser estudiada en base a factores climáticos, orográficos, etc. Y uno de los enfoques de más éxito es el del *modelo de huracán*, basado en obtener la humedad precipitable que puede producir al paso de un huracán por una cuenca, a partir de condiciones climáticas, estimadas o conocidas. Modelo que se utilizó con muy buenos resultados en los Estados Unidos, México, Puerto Rico, y el Caribe. Y que en RD se usó para Tavera-Bao.

RAMÍREZ-IID/ 12.

¹⁷ **PMF:** Probable maximum flood.

Regla para la operación de las compuertas¹⁸

Asunciones

- *Velocidad de desplazamiento del huracán* que produce la PMP: 8km/h en dirección este-oeste. Velocidad considerada baja, pero aceptable, ya que el objetivo es conservador, la seguridad de las obras de descarga.
La historia de los huracanes indica que su velocidad oscila entre 18 y 23km/h en el área del Caribe, ordinariamente. Por eso si no se tiene información precisa de la velocidad con que se desplaza una tormenta que se aproxima a la cuenca Tavera-Bao se debe asumir que es de 20km/h .
- *Radio abarcado* por los vientos del huracán: 200km , como en el modelo de huracán.
- *El inicio de la avenida máxima probable (PMF)* parece ser cuando los vientos del huracán tocan la cuenca, y el ojo del huracán está a 200km de la misma, entonces se inicia el hidrograma. Antes de que esto ocurra el caudal de los ríos entrando a Tavera-Bao es de unos $50\text{m}^3/\text{s}$ en cada uno de los embalses.
Durante las primeras 20 horas después de iniciada la PMF el caudal se mantiene constante, no hay un incremento significativo del caudal, lo que da un amplio margen de tiempo, para la toma de decisiones. El flujo de caudales considerables comienza a las 22 horas de iniciada la PMF.
- *Elevación en el embalse*, 320.00m como máximo en toda la temporada ciclónica.

Caudal de descarga. Se extraerá un flujo que *no sobrepase los $500\text{m}^3/\text{s}$* , o el nivel está por encima de la cota 318.20m , ($120\text{m}^3/\text{s}$ por el túnel de riego y $380\text{m}^3/\text{s}$ por el vertedero). Caudal que se estima que no causa daño aguas abajo de la presa¹⁹.

La curva de operación en crecidas para Tavera-Bao recoge

- el *comportamiento del embalse de Tavera (-Bao)* por efecto de la operación del mismo.
- indica *los niveles en el embalse y la distancia a que se encuentra el ojo del huracán*, y
- establece el *nivel a que debe estar el embalse* cuando el ojo del huracán se encuentre a una determinada distancia del borde de la cuenca.

La operación con esta curva *busca que el nivel en Tavera y en Bao estén en o por debajo de 317.00m* , cuando se inicie la PMF, garantizando que el nivel de las aguas no sobrepasará la corona de la presa.

El cierre de compuerta es una *decisión bastante difícil* por la incertidumbre de la naturaleza, la magnitud del pico de la crecida que se regula, y la probabilidad de que ocurra una segunda crecida.

¹⁸ **Regla de operación de las compuertas**, desde la definición del momento de toma de decisión hasta el final del paso de la crecida.

Fue definida después de una serie de simulaciones de tránsito de la PMF por el sistema Tavera-Bao, y especialmente por el canal de interconexión Tavera-Bao. Para ello se utilizó un modelo matemático escrito en lenguaje Fortran y elaborado por Harza. RAMÍREZ-IID/13.

¹⁹ **Caudal de descarga.** La regla actual de operación en crecida disminuye considerablemente el caudal inicial de descarga con respecto a la regla anterior. Se trata de disminuir el volumen a desaguar en el mismo tiempo, a un volumen que no cause daños aguas abajo ("atenuación del pico").

Y da mejor rejuego si el huracán no provoca la PMF, como sucede la mayoría de las veces. Este caudal es el que da mayor equilibrio entre seguridad de la presa, aprovechamiento del agua y disminución de daños río abajo.

En la **regla anterior** con *descarga libre durante todo el tiempo de operación*, al cabo de 20 horas el volumen extraído era de unos 180Mm^3 . Mientras que con un caudal inicial constante de $500\text{m}^3/\text{s}$ el volumen al cabo del mismo tiempo es de 170Mm^3 , un 6% menos que en el primer caso.

La operación del cierre de la compuerta está *condicionada por la evolución continua de los niveles del agua en la presa*²⁰.

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

La idea clave para la operación de los embalses en la época de huracanes es *operar el embalse para recibir la crecida máxima probable (PMF)*.

Enfatiza el componente de seguridad y *procura aprovechar las aguas* para su uso normal (generación, riego, etc.), conforme el comportamiento real del embalse. La curva de operación permite un diagnóstico del embalse y recibir la PMF, en todo momento²¹.

Los niveles máximos de los embalses (320.00m) para la temporada de huracanes *permiten mantener unos 150Mm3 disponibles en los dos embalses*, para aceptar la PMF (hasta el NAME) y da mayor flexibilidad para generar electricidad, al no imponer niveles más altos²².

Cuando se inician los caudales importantes de las crecidas *el nivel de los embalses debe estar en la cota 317.00m*. Y las compuertas deben estar completamente abiertas, lo mismo que el túnel de riego. El aumento de nivel será discreto inicialmente, incrementándose rápidamente hasta ser de 4 cm/minuto.

Si la operación se hizo como se recomendó *no hay motivo de alarma*, pues aún presentándose la PMF, la presa no corre peligro. Y el operador debe actuar conforme la evolución de la crecida y decidir el momento de inicio del cierre de las compuertas²³.

El inicio del cierre de las compuertas será *unas dos horas después de observar que los niveles del agua han comenzado a bajar*. Este tiempo permite asegurarse de que efectivamente el pico ha pasado. Sin embargo, si el caudal de egreso es muy grande es necesario disminuirlo para evitar que vierta el agua por encima de las compuertas, por efecto del oleaje²⁴.

20 RAMÍREZ-IIC/ 13, 16-21.

21 RAMÍREZ-IID/ 27.

22 NAME: nivel de aguas máximas extraordinarias.

23 RAMÍREZ-IIC/ 28.

24 RAMÍREZ-IID/ 29.

5A. CONTRAEMBASE DE LÓPEZ

Complemento al Capítulo 5

ÍNDICE

<i>Introducción</i>	280
<i>Componentes del proyecto</i>	280
<i>Construcción del proyecto</i>	282
<i>Apéndice</i>	
<i>Ap. 5A.1 Historia del Contraembalse de López</i>	285

INTRODUCCIÓN

El proyecto López-Angostura es la **etapa final del desarrollo del complejo Tavera-Bao-López**. Está *ubicado* en el río Bao, aguas abajo de la central de Tavera y poco antes de su confluencia con el Yaque Norte.

Su *objetivo* principal es regular nuevamente el caudal diario turbinado en la central de Tavera, a fin de satisfacer los requerimientos de agua potable e irrigación aguas abajo, e incrementar la capacidad de generación pico, mediante la producción de energía eléctrica en la casa de máquinas de Angostura, de 18 MW. De ahí que se le llame también proyecto López-Angostura, por el nombre de los sitios donde están situadas la presa y la central hidroeléctrica del proyecto.

ANTECEDENTES Y ESTUDIOS PREVIOS

Desde mediados los años 50 se realizaron **varios estudios** para el desarrollo de la cuenca del Yaque Norte y su afluente el río Bao, a fin de suministrar agua para riego, uso doméstico, industrial y producción de energía eléctrica. Y se recomendaron varios sitios para un contraembalse.

En 1956 *Mendoza y Armenteros* estudia el sitio de La Angostura, para ubicar una presa que formara un gran embalse en el Yaque Norte. En 1957 Ebasco urge la construcción de un contraembalse aguas abajo de la proyectada central hidroeléctrica de Tavera. Y en ese mismo año la Montreal recomendó situar la presa del contraembalse a unos 3.5km aguas abajo de la presa de Tavera. Presa que Mendoza y Armenteros, en un estudio posterior (1959), recomendó que se situara a unos 900m aguas arriba de la confluencia del Arroyo Bananos con el Yaque Norte, en Baitoa, antes de su confluencia con el Bao.

El primer estudio de factibilidad sobre un contraembalse, aguas abajo de la central hidroeléctrica de Tavera, fue el de *Lahmeyer* (1967), que localizaba su presa a unos 600m aguas abajo de la confluencia del Bao con el Yaque Norte, y que recomendaba la construcción del contraembalse como segunda etapa del complejo de Tavera.

El informe de la CDE sobre el proyecto Bao (1972) aportó una nueva concepción del proyecto Bao, con una significativa reducción de sus costos, por lo que recomendaba que este proyecto fuera la segunda etapa, dejando el proyecto del contraembalse de López para la tercera y última etapa del complejo de Tavera.

Un estudio posterior de *Harza* (1978) ubicaba la presa del contraembalse unos 2km aguas abajo de la población de López. Y un último estudio de *Lahmeyer* (1979) la situaba en Bao, poco antes de la confluencia del río del mismo nombre con el Yaque Norte.

El contraembalse salió a **licitación internacional** en 1981, con especificaciones y planos elaborados por *Lahmeyer*. *Diseño* que sufrió algunas modificaciones durante su construcción, entrando en operación en 1987. La *supervisión* de la construcción corrió a cargo del consorcio Harza Eng. - Hanson Rodríguez, quien elaboró el "Informe Final del diseño y construcción" del Proyecto López-Angostura"¹.

COMPONENTES DEL PROYECTO

La presa de López está situada en el río Bao, inmediatamente aguas arriba de su confluencia con el Río Yaque Norte.

Es una presa *de tierra y enrocamiento*. Consta de un núcleo impermeable de arcilla en la parte central, flanqueado aguas arriba y aguas abajo por una zona de transición o filtro, seguida por espaldones. Está protegida por gaviones anclados al cuerpo de la misma y, en la corona, el núcleo está cubierto con gaviones y asfalto bituminoso de 7cm de espesor. Y los 3.5m superiores del talud aguas arriba y del talud aguas abajo, están protegidos por una losa de hormigón de 30cm de espesor.

No contiene instrumentación debido a su elevación relativamente baja².

1 Ver el **Apéndice 5-A.1** "Historia del Contraembalse de López".

2 Las **modificaciones** al diseño de la presa, respecto al estudio final y lo planos de licitación, de *Lahmeyer*, pueden verse en HARZA ENG. - HANSON.RODRÍGUEZ - "Proyecto López-Angostura: Informe Final de diseño y construcción". Enero 1988. 2/111.31-32

CALENDARIO DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA

29 marzo 1983	Se comenzó la remoción del terreno de recubrimiento
1 abril de 1983	Se inició la excavación de los estribos y la fundación, así como el tratamiento y las inyecciones de fundación
Noviembre 1983	Se inició la construcción de la presa, propiamente dicha
Agosto de 1985	Se terminó presa
26-29 Enero 1986	Llenado del embalse de López en tres etapas ³ .
La presa se terminó con 14 meses de retraso	

El túnel de desvío, revestido de hormigón (115.39m de longitud y 4.2m de diámetro) está localizado aguas arriba del estribo derecho de la presa. Tiene capacidad para desviar hasta 90m³/s provenientes de la descarga de la central hidroeléctrica de Tavera, y actúa como un desagüe de emergencia con capacidad de 50m³/s para satisfacer las necesidades de irrigación aguas abajo, en caso de que la central de Angostura esté fuera de servicio.

El vertedero y canal de López deriva las aguas del contraembalse de López al río Yaque Norte. Está diseñado para crecidas extraordinarias, y es de forma trapezoidal revestido de piedras, mortero de cemento y vigas de hormigón armado. Está ubicado 200m aguas arriba del estribo derecho de la presa, y permite el desvío de 60m³/s. El flujo del canal se conduce al cuenco dissipador, con un salto de 14m de altura.

El aliviadero consiste en un área plana de unos 250m de ancho a la derecha y a la izquierda del vertedero, con protección de grama. El aliviadero y el canal de desvío fueron diseñados para pasar 60m³/s en la cota 226⁴.

El cauce de avenida tiene un ancho de 2.50m. El *floodway* de López comienza a operar después que el *floodway* de Bao ha comenzado a operar durante la ocurrencia de una crecida provocada por un huracán⁵.

El túnel de carga une el embalse de López con la casa de máquinas de Angostura. Tiene 3.9km de longitud y 4.2m de diámetro. Está revestido de hormigón, y sus primeros 250m son del tipo "Cut-and-Cover".

La excavación de la **chimenea de equilibrio** fue de 15.70m de ancho y 15.70m de profundidad⁶.

La casa de máquinas está ubicada en el cañón Angostura y su plataforma está en la cota 203m. Es del tipo pozo vertical mide 20m de diámetro y 36.5m de profundidad. Cuenta con una turbina tipo Francis de 18 MW de potencia, con una producción media anual de 128 GWh y una descarga de 50m³/s. Está ubicada unos 800m aguas arriba de la salida del Cañón de Angostura. La

3 HARZA ENG. - HANSON.RODRÍGUEZ.- o. c. 2/III. 25, 29-30.

Llenado del embalse López en tres etapas hasta la cota 218 m, la 222 m y hasta verter sobre la estructura de desvío. Interrumpiendo el llenado en cada cota para comprobar que el comportamiento de la presa era satisfactorio (que no habían ocurrido filtraciones, asentamientos, cambio de alineación en el eje, etc.). HARZA ENG. - HANSON.RODRÍGUEZ - o. c. 2/III- 60).

4 60 m³/s en la cota 226 del embalse. Sin embargo, en realidad se requirió pasar caudales de hasta 90m³/s por las instalaciones durante el largo período de construcción, cuando las dos unidades de la casa de máquinas de Tavera estaban operando a plena capacidad. Aunque no ocurrieron daños a las instalaciones, se recomienda que para pasar caudales mayores de 60m³/s se use el túnel de desvío.

5 COEE.- o. c, pg. 4.

6 HARZA ENG. - HANSON.RODRÍGUEZ.- o. c. 21III - 58.

subestación de Angostura es del tipo SF6 y tiene una línea de transmisión de 138 kw de unos 6km. de longitud para interconexión con la subestación de Tavera.

La *cuenca del embalse de López*, en sí, en el río Bao, es extremadamente reducida. Prácticamente todo el caudal que se turbinan en la casa de máquinas de Angostura; proviene de los caudales del Yaque Norte y del Bao que se turbinan en la casa de máquinas de Tavera⁷.

6 Nov. 1982	Inicio del contrato de BBC
21 Ago. 1987	Certificado de aceptación provisional del equipo eléctrico (Lote 3) y comienzo del período de garantía de dos años (FÍA 2/V - 13)

La **unidad generadora ecológica** de la presa de López suministra agua a una sección del río Yaque Norte que de otra manera estaría seca durante la operación normal del Proyecto López-Angostura. Está ubicada en la toma de desvío y consiste en un pequeño generador de inducción con una turbina Francis, con capacidad nominal de 147kw, 600rpm, un salto de 17m y una descarga de 1m³/s⁸.

CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO

En 1980 se iniciaron **las obras preliminares** (caminos de acceso, campamento de los operadores y la infraestructura), terminándose 1983.

En 1981 se convocó **licitación internacional** para los *tres contratos* que componían el proyecto (obras civiles, equipos mecánicos y eléctricos). Lahmeyer preparó los documentos de licitación que incluían los planos y especificaciones para la construcción de las obras civiles, y para el suministro y el montaje de los equipos mecánicos y eléctricos, con sus documentos contractuales⁹.

Se presentaron nueve ofertas y entre junio y agosto de 1982 se firmaron los **contratos** con los ganadores de la licitación. El lote 1, de obras civiles, fue adjudicado a Agromán. El lote 2, de equipo mecánico y estructuras hidráulicas de acero, a Neyrpic Española. Y el lote 3, equipo eléctrico, a Brown Boveri & C. I. E. (que subcontrató a EEMCA y Dalsan, firmas dominicanas)¹⁰.

Y en octubre del mismo año, 1982, se contrataron **los servicios de ingeniería para el diseño y la construcción** del Proyecto López-Angostura, con Harza-Hanson Rodríguez. Servicios que incluían: planos detallados del diseño estructural y construcción civil. Revisión de los planos de diseño presentados por los contratistas de suministro y montaje de las instalaciones mecánicas y eléctricas. Administración de los tres contratos. Inspección de las obras de construcción y montaje para garantizar su ejecución según los contratos. Y otros servicios especiales de ingeniería, según los requerimientos de la CDE¹¹.

Como dijimos anteriormente los documentos de licitación fueron preparados por Lahmeyer. Si bien durante la etapa del diseño final y la construcción se efectuaron **modificaciones al diseño** de

7 HARZA ENG. - HANSON.RODRÍGUEZ .- o. c. II.5, 111.33-35. 58 y V-13.

8 HARZA ENG. - HANSON.RODRÍGUEZ .- o. c. 2/IV-22.

9 HARZA ENG. - HANSON.RODRÍGUEZ .- o. c. 2/I. 1-2.

9 ofertas. Pueden verse sus datos más importantes en HARZA ENG. - HANSON.RODRÍGUEZ .- o. c. 2/III. 4-5.

10 HARZA ENG. - HANSON.RODRÍGUEZ .-o. c. 2/111-1.

Equipos Mecánicos. La descripción de los principales equipos mecánicos instalados en las diversas estructuras del Proyecto López-Angostura pueden verse en HARZA ENG. - HANSON.RODRÍGUEZ .- o. c. 2/IV-3 ss.

Equipos eléctricos. Su descripción puede verse en HARZA ENG. - HANSON.RODRÍGUEZ .- o. c. 2/V-3 ss.

11 HARZA ENG. - HANSON.RODRÍGUEZ .- o. c. 2/I. 1-2.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

los planos contractuales elaborados por Lahmeyer, a fin de afrontar imprevistos de la construcción, incrementar la resistencia estructural, mejorar la operación hidráulica, mejorar los métodos de construcción y reducir sus costos¹².

Su **costo total** fue de US\$63.8 M (RD\$ 3/US\$ 1, promedio durante la ejecución del trabajo).

El aumento del costo final respecto al presupuestado en los contratos de licitación, se debió principalmente a los costos por escalación de los precios, trabajos adicionales, órdenes de cambio, pérdidas por cambio de divisas, trabajos adicionales, órdenes de cambios y saldos pendientes¹³.

Su **financiamiento** fue con dos préstamos, uno del BID (US\$44.5 M, 69.7 %) y otro del Fondo de Inversiones de Venezuela (FIV) (US\$14.5 M., 22.7%). El resto lo aportó del GORD (RD\$4.8 M 7.6%)¹⁴.

12 **Modificaciones al diseño.** La historia y detalle de los mismos [por estructura] pueden verse en **HARZA ENG. - HANSON. RODRÍGUEZ.- o. c. 2 / II 9 - 13.**

13 **Trabajos adicionales:** Rehabilitación de 17km de caminos existentes en el área del proyecto. Construcción de los cuarteles militares y mejoramiento del drenaje y del suministro de agua.

Reclamos y saldos pendientes: Neyrpic Española presentó un reclamo por costos causados por retraso de 20 meses en finalizar los componentes civiles relacionados.

Pérdidas por cambio de divisas. Se empezó el proyecto con una tasa de cambio US\$/1 RD\$ y se terminó con US\$1/RD\$3.

Los **costos** de la construcción en detalle para cada contrato, pueden verse en **HARZA ENG. - HANSON.RODRÍGUEZ.- o. c. 2/VI. 1-17.**

14 **Préstamo** No. 646/SF-DR y 74/IC-DR del BID por US\$44.5 M y del Fondo de Inversiones de Venezuela (FIV) por el equivalente de US\$14.5 M. **HARZA ENG. - HANSON.RODRÍGUEZ.- o. c. 21 Y.4.**

APÉNDICE 5A.1

HISTORIA DEL CONTRAEMBALSE DE LÓPEZ

INTRODUCCIÓN

Desde 1956 se realizaron varios estudios para el desarrollo de las cuencas del río Yaque Norte y su afluente el Bao, a fin de suministrar agua para riego, uso doméstico, industrial y la producción energía eléctrica.

En diciembre de 1966 la CDE contrató a **Lahmeyer** para hacer tres estudios de factibilidad sobre los embalses de Tavera, Jagua/Bao y el contraembalse de López. Y en junio de 1967 Lahmeyer entregó su estudio de factibilidad sobre el proyecto *Tavera*, proyecto que entró en operación en 1973. En dicho estudio se recomendaba construir un contraembalse, aguas abajo de la central hidroeléctrica de Tavera¹.

Y en diciembre de 1967 Lahmeyer presentó su “Informe de Factibilidad del Contraembalse de López”. Recomendó la construcción de una presa de hormigón, a unos 600m aguas abajo de la confluencia del río Bao con el Yaque del Norte, equipándola con una central de 7MW de energía base. Y recomendó que dicho contraembalse fuera la segunda etapa del complejo de Tavera².

En 1972, la **CDE** presentó su “Estudio de Factibilidad Tavera-Bao”, con la novedad de la interconexión de ambos embalses mediante un canal a cielo abierto. Nueva concepción que permitía una fuerte reducción de los costos de construcción del proyecto Bao y una mayor rentabilidad, así como una optimización de las aguas del mismo para garantizar el riego y la generación de hidroeléctrica. Por lo que recomendaron que el Proyecto de Bao 2a Etapa del complejo de Bao y la 3a Etapa el Contraembalse de López³.

En 1978, **Harza Overseas** presentó su informe de factibilidad del contraembalse de López recomendando una presa más grande, de tierra, aguas abajo del sitio recomendado por Lahmeyer y equipada con una central de energía mayor. En ese mismo año el proyecto Bao se encontraba en fase de diseño y estaba en proceso de construcción el “Proyecto de riego del Yaque Norte, en base a los Estudios presentados por Acres - Hanson. Rodríguez e CLACO⁴.

En octubre de 1978 la CDE firmó un nuevo contrato con **Lahmeyer** para la investigación de alternativas más económicas que la de Harza (1978) para la central de energía hidroeléctrica del contraembalse de López y la actualización del estudio de factibilidad anterior (1967), sin cambio del sitio de la presa⁵.

1 **Jagua/Bao**. En esa fecha estaba por definir en cual de los dos ríos debía ubicarse el segundo embalse del complejo de Tavera.

2 **1967**. El informe está fechado en diciembre de 1967, en la portada. Sin embargo la carta de presentación a la CDE, e inserta en el mismo está fechada en abril de 1969.

3 **Mayor rentabilidad**. Según el informe de la CDE la inversión necesaria para construir el proyecto López representaba el 95% de los costos del proyecto Bao. Y, por otra parte, el proyecto de López aumentaba la producción eléctrica de 112 Gwh a 189 Gwh, mientras que con el proyecto Bao se aumentaría la producción hidroeléctrica de 112 Gwh a 305 Gwh, es decir, casi triplicaría la producción de energía original de Tavera

CDE .- “*Estudio de Factibilidad Tavera-Bao*”. 1972. Tomo I pp. 1-24 F.9-10 H. 11-16

4 Proyecto Bao. Su entrada en operación estaba programada para fines de 1980.

5 **HARZA ENG. - HANSON.RODRÍGUEZ** .- “*Proyecto López-Angostura: Informe Final de diseño y construcción*” 1-3 y **LAHMEYER** .- “*Proyecto López-Angostura: Informe Definitivo de Factibilidad*”. Santo Domingo. Vol 1. “*Informe Principal*”. 126 pp / F-3.

Dichos proyectos -el de Tavera y Bao- serían complementados por la construcción del *contraembalse* de López para re-regular los caudales turbinados procedentes de dichos embalses. Aguas que se usarían para riego, uso doméstico e industrial, y para ampliar la generación de energía hidroeléctrica.

ANTECEDENTES

Mendoza y Armenteros (1956) al estudiar las posibilidades de embalses de regulación, para riego y aprovechamiento hidroeléctrico en el Yaque Norte y sus afluentes, considera, entre otros como uno de los embalses mayores posibles, el de La Angostura.

El Yaque del Norte, aguas abajo de su confluencia con el Bao, penetra en un estrecho canon, de cuyas favorables condiciones topográficas para establecer una presa da idea el nombre del paraje: La Angostura. Condiciones topográficas excelentes se presentaban en el vaso, en el cercano valle de Baitoa.

Desde el punto de vista de la regulación del río, para los regadíos, el sitio ofrece atractivos singulares. Está situado en el límite superior del tramo agrícola, y dominando el gran valle se reunirían en el embalse que pudiera construirse aquí las aguas de toda la cabecera y tramo medio del río Yaque Norte, con sus afluentes más ricos, que serían regulados con una presa y embalse único.

Por lo que recomendaron que al estudiar las obras de regulación del Yaque del Norte y del Bao se comparara esta alternativa de un único embalse en La Angostura de Baitoa, donde puede ser económico afrontar una obra, aunque implica dificultades.

Es interesante para la regulación de regadíos, aunque geológicamente dudoso por lo que, dadas sus otras ventajas, habría que estudiar este aspecto⁶.

Esbasco (1957) fue la primera firma consultora que planteó la necesidad de un contraembalse para re-regular por la central hidroeléctrica de Tavera y/u otros proyectos alternativos⁷.

El Estudio de la **Montreal** (1957)⁸ urge la necesidad de un embalse de regulación secundaria si la planta hidroeléctrica de Tavera ha de operar en condiciones óptimas. Pues sin el contraembalse funcionaría sólo durante las horas de máxima demanda, quedando parada el resto del tiempo.

Por otra parte, de funcionar solo en horas pico, la descarga de agua de la planta sería intermitente y tendría que convertirse en un caudal más o menos constante antes de llegar a las obras de irrigación, por lo que se necesita un contraembalse hasta para optimar para riego el agua turbinada en Tavera en horas pico. De otra manera se tendrían períodos de desperdicio de agua alternados con periodos de escasez.

La Montreal estimó, en cálculos preliminares, un embalse con 1.5M m³ de volumen útil sería suficiente para uniformar los caudales según la demanda de agua para irrigación. A 3.5km de la presa de Tavera, río abajo, se halló un sitio excelente para la construcción de una presa pequeña para un embalse con capacidad de 1,6Mm³, entre las cotas 240 y 255m, siendo esta ultima la cota aproximada de las aguas de descarga contempladas a la salida de la planta de Tavera.

El sitio escogido es todo de roca conglomerada de calidad. El caudal normal se descargaría por un conducto en la presa a nivel abajo. La presa sería en forma de vertedero con una longitud de unos 120m⁹.

6 **MENDOZA Y ARMENTEROS** .- "*Estudio Hidráulico del río Yaque del Norte y sus afluentes Jimenoa, Bao y Mao*". (1956). 20-22 y 31-33, 38.

7 **ESBASCO Service Inc.**.- "*Feasibility Study, Tavera Multipurpose Project*". Marzo 1957.

No damos datos de dicho Estudio, porque como nos pasó en otros casos, no pudimos conseguir copia de los mismos.

8 **MONTREAL ENGINEERING COMPANY, LIMITED** - THE FOUNDATION COMPANY OF CANADA LIMITED .- "*Informe de la investigación en el terreno del Proyecto Tavera de aprovechamiento múltiple*" Octubre 1957.

9 **MONTREAL** .- o. c, pp. 21-22.

OTRO ESTUDIO DE MENDOZA Y ARMENTEROS (1959)

Un estudio posterior de Mendoza y Armenteros (1959) sobre el proyecto definitivo de la presa de Tavera contiene todo un capítulo dedicado al contraembalse.

Para Mendoza y Armenteros el objetivo principal del embalse de Tavera era garantizar agua a los regadíos existentes y futuros, en el tramo inferior del río Yaque del Norte. Por lo que los otros posibles usos del agua del embalse no debían interferir con el régimen de caudales necesarios para la zona de riego.

El caudal destinado a riegos debe ser casi uniforme a lo largo del día y de la semana, según las necesidades de cada época. Mientras que el ritmo de producción hidroeléctrica y, por consiguiente, los caudales turbinados es muy variable, máxime que esta central hidroeléctrica es para atender la demanda de horas de punta. Por lo que, para no sacrificar ninguna de estas dos usos del embalse, deberá construirse aguas abajo un pequeño embalse (contraembalse), destinado a recoger los volúmenes de agua turbinados por la central, que son mayores que los necesarios para el riego, para descargarlos mas tarde de acuerdo a las necesidades de riego, en horas en que no funciona la central.

Para la *ubicación del contraembalse* se consideraron tres posibles emplazamientos incluyendo el propuesto por la Montreal -que fue desechado por su poco volumen útil, limitando el posible aprovechamiento hidroeléctrico futuro del embalse, estableciendo un aprovechamiento integral escalonado-. Y se recomendó situarlo a unos 900m aguas arriba de la población de Baitoa, que presentaba excelentes condiciones topográficas y geológicas para una presa de poca altura, y que parecía suficiente para la regulación diaria, e incluso la semanal, si se colocaban compuertas en el aliviadero.

Con el nivel máximo de explotación en la cota 243 su embalse total sería de 2.8Mm³ y el embalse útil de 1.7Mm³ suficiente para la regulación diaria. Y si más adelante se decidiera colocar compuertas con objeto de incrementar el salto para construir un aprovechamiento hidroeléctrico podría oscilar el embalse entre las cotas 250 y 240, con un embalse útil de 3.6Mm³, que es aproximadamente lo que se necesitaría para la regulación semanal

La presa del contraembalse de Baitoa estaría en el Yaque Norte a unos 900m aguas arriba de su confluencia con el arroyo Bananos. Emplazamiento que, según los informes geológicos, reúne excelentes condiciones geológicas para ubicar una presa de la altura diseñada. La presa estaría constituida por un vertedero central de 80m de longitud, con el umbral en la cota 243, y los estribos con perfil de gravedad, que limitan el vertedero, se coronarían en la cota 254, es decir 1.5m encima del nivel de la máxima avenida. Su altura sobre los cimientos sería de 374 y su longitud de 197m.

La presa del contraembalse de Baitoa crea un desnivel cuyo aprovechamiento en *una central hidroeléctrica* sería económico, pero Mendoza y Armenteros no creía que fuera interesante instalar inmediatamente¹⁰.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE LAHMEYER (1967)¹¹

Introducción. El estudio de Lahmeyer 1967 es *el primer estudio de factibilidad técnica y económica* que se hizo sobre el contraembalse de López. Forma parte de los estudios que hizo dicha firma a propósito de su estudio sobre el proyecto de Tavera. Se realizó teniendo en cuenta todos los documentos y planos elaborados durante los catorce años anteriores por varias compañías consultoras y evaluando las observaciones y recomendaciones hechas al respecto por diferentes comisiones nacionales e internacionales. Así como los criterios, especificaciones y recomendaciones, de las instituciones financieras internacionales que financiarían el proyecto¹².

10 **MENDOZA Y ARMENTEROS - CONCRETERA DOMINICANA:** “Proyecto definitivo del aprovechamiento múltiple del río Yaque del Norte, sitio de Tavera. Memoria”. Febrero, 1959. pp. XI. 1-4 y 10.

11 Estudio de Lahmeyer 1967. “Estudio de Factibilidad del Proyecto Múltiple de Tavera: Sector B: Contraembalse 1967”, es la fecha que aparece en la portada del estudio. Sin embargo, la carta de presentación del mismo a la CDE es de abril de 1969.

12 Estudios de Lahmeyer. El 12 de diciembre de 1996 el INDRHI firmó un contrato con Lahmeyer para hacer tres estudios de factibilidad sobre el mejor aprovechamiento de las aguas del río Yaque del Norte con sus tributarios, Jagua y Guanajuma, para riego y generación eléctrica. Más en concreto sobre la presa de Tavera, el contraembalse de López y la presa de Jagua/Bao.

Se estudiaron **tres alternativas para la presa**, atendiendo al volumen necesario del contraembalse para cumplir con los fines propuestos. Y finalmente se recomendó el sitio el llamado # 2, en base a las condiciones topográficas y geológicas, en comparación con los otros sitios¹³.

La **propuesta de Lahmeyer** fue la siguiente. Construcción de una *presa* de dique de concreto y con compuertas de segmentos superpuestos. El nivel máximo del embalse sería en la cota 218.70m. El *embalse* formado tendría un volumen total de 4.1M m³ y un volumen útil de 3.1M m³ para regular los caudales de las plantas hidroeléctricas de Tavera y Jagua/Bao las cuales trabajaría en horas pico. Una planta hidroeléctrica de 7MW, se instalaría al lado derecho del dique, esperando un 88% del caudal efluente anual produciendo y produciendo unos 35M de kwh de energía base¹⁴.

El **contraembalse**, para represar los caudales de los ríos Yaque del Norte y Bao turbinados en la planta hidroeléctrica de Tavera, estaría *localizado* necesariamente, entre dicha planta y el comienzo de la zona de riego.

La central de Tavera esta situada sobre el río Bao, a 1.5km río abajo del sitio de Sabana Iglesia. En 1967 el primer canal de riego tenía su toma en la ciudad de Santiago, existiendo proyectos para la construcción de un canal, con su toma de agua en las cercanías del cañón de La Angostura. Por lo que el contraembalse de López debería construirse aguas arriba de La Angostura, permitiendo así el desarrollo de futuros canales¹⁵.

La ubicación de la planta hidroeléctrica de Tavera también influyó en la localización y dimensionamiento del contraembalse. El nivel del mismo no podía elevarse a un punto donde impidiese el eficiente funcionamiento de la planta de Tavera, al restarle altura de caída útil, mermando su generación de energía pico. De ahí que el punto más elevado de la presa se ubicó unos 650m aguas abajo de la confluencia del Bao con el Yaque del Norte, recomendándose el sitio # 2, como dijimos anteriormente.

El *lago* formado estaría en la zona de confluencia de los ríos Bao y Yaque del Norte. Tendría una superficie máxima de 63ha, un volumen útil de 3.1M m³ y un volumen muerto de 1.0M m³. Y se extendería 3.4km en el valle del río Bao, hasta la central de Tavera, y 3km en el valle del río Yaque del Norte hasta el sitio de Baitoa. El ancho del lago del embalse tiene como promedio 110m. Su profundidad en el sitio de la presa sería de 17.50m, disminuyendo hasta llegar al nivel natural de los ríos en el punto de entrada de aquellos al embalse¹⁶.

Las *áreas inundadas* por el contraembalse serían zonas no utilizadas por la agricultura. Sus márgenes, por largos trechos se encontraban cubiertas por matorrales y árboles que deben ser quitados. Habría que reubicar cuatro o cinco casas, y se inundaría un meandro de poca profundidad cerca de la población de López¹⁷.

Operación del contraembalse de López. El caudal afluente depende del ritmo diario de utilización de las plantas hidroeléctricas de pico, aguas arriba del contraembalse. Y el efluente varía, según las necesidades de riego, por lo que pueden reajustarse las horas de utilización de las plantas hidroeléctricas aguas arriba¹⁸.

El contraembalse se ha dimensionado como *embalse de acumulación diaria*, para represar el volumen de agua turbinado en Tavera y descargarlo según las necesidades de riego¹⁹.

13 LAHMEYER.- o. c, pp. 1/ A-7.

14 LAHMEYER.- o. c, pg 1/ 1.

15 LAHMEYER.- o. c, pg. 1/F-I.

16 LAHMEYER.- o. c, pg. 1/ G-7.

El río Bao después de 2.5km de recorrido, a partir de la Planta de Tavera, desemboca en el Yaque del Norte. Río que después de un recorrido de 15km llega a Santiago, cortando con muchas sinuosidades el cañón de la Angostura.

Volumen del contraembalse. Para determinar el volumen necesario del contraembalse, se partió de establecer el caudal regulado por los embalses de Tavera y Jagua/Bao, y las características de la demanda de riego, electricidad y otros usos, así como sus oscilaciones máximas.

Como resultado de las investigaciones realizadas se determinó que se requería un contraembalse con un volumen *útil* de 3.1M m³ para la re-regulación del caudal afluente durante 24 horas, para las zonas de riego. Y un volumen muerto 1M m³, y una altura de 17.5 m LAHMEYER - o. c, pg I/E-13.

17 Ver Anexo G-31

18 LAHMEYER - o. c, p. 1/1.

19 LAHMEYER - o. c, p. 1/E-9.

La presa estaría ubicada 650m aguas abajo de la confluencia del río Bao con el Yaque del Norte. Se diseñó como *azud de 120m de ancho* para verter las crecientes. Tendría el umbral de hormigón y para verter las aguas de las avenidas tendría cinco aberturas de 20m de ancho cada una, que podrían ser cerradas por medio de compuertas de segmento de 11m de altura²⁰.

El nivel máximo del embalse sería en la cota 218.70m, la altura de la presa sería de 17.50m sobre el cauce del río. Con esto se forma un embalse con un *volumen útil de 3.1Mm³*, y un volumen total de 4.1M m³, para la regulación de los caudales de la planta de Tavera.

El acceso a la presa y a la planta hidroeléctrica se haría por una carretera a construir, desviándose de la carretera de acceso que conduce a la planta hidroeléctrica de Tavera, entonces en construcción, a 800m al NO del poblado de Baitoa.

La planta hidroeléctrica tendría una turbina del tipo Kaplan de doble regulación, que por razones constructivas debería ser de eje vertical, adecuada para operar dentro de las variaciones del caudal y de la caída. Su *capacidad máxima de generación sería de 7MW* para un caudal de 50m³/s, con una producción anual de 37M kwh. Y bastaría una unidad, ya que para esta planta, relativamente pequeña, no se necesita una máquina de reserva²¹.

Construcción. Los costos de construcción del contraembalse de López, incluyendo la carretera de acceso y la línea de transmisión, fueron calculados en US\$9.86 M.

Y el tiempo de su construcción se estimaba *en dos y medio y tres años*. Se recomendó hacerlo cuanto antes para que pudiera entrar en funcionamiento a la mayor brevedad, después de la entrada en operación de la planta hidroeléctrica de Tavera, de modo que pudiera optimizarse la generación de la energía de pico en Tavera, lo más pronto posible²².

CDE, INDRHI Y LA “ENTIDAD AUTÓNOMA DE TAVERA”

En las negociaciones de financiamiento del Proyecto Múltiple de Tavera se convino con el BID, que el diseño detallado y la supervisión de la construcción de la obra se hiciese a través de la **CDE**, mientras que el **INDRHI** sería responsable del diseño, extensión y administración de la zona de riego, aguas abajo de la ciudad de Santiago de los Caballeros.

Y se convino, también, que, la “Entidad Autónoma de Tavera”, a crear de inmediato, sería la encargada de la administración del complejo del mismo nombre, como una institución autónoma, y con economía autosuficiente²³.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE HARZA OVERSEAS (1978)

Componentes. El proyecto consiste de una presa, un vertedero y una central de energía. Se recomendó una *presa de terraplén* con fundación en roca, con núcleo impermeable, drenajes, filtros, espaldones de enrocamiento, y escollera. Y se construirían una cortina de inyecciones y un sistema de drenaje debajo de la presa con el fin de controlar las filtraciones.

El *vertedero* tendría compuertas con una capacidad de descarga de 7,000m³/s el nivel máximo normal del embalse (cota 225.0m), y una capacidad de descarga de 11,700m³/s en condiciones de sobrecarga.

La *toma de agua para generar energía* estaría en el estribo izquierdo de la presa de Bao, a unos 3km aguas arriba de la central de energía existente en Tavera, en el río Bao.

20 LAHMEYER - o. c, p. 1/ G. 3-6.

21 LAHMEYER - o. c, p. 1/ F-8.

22 LAHMEYER - o. c, p. 1/ A-10.

23 LAHMEYER - o. c, p. 1/ A-11.

“Entidad Autónoma de Tavera”. Detalles sobre su dirección y consejo de administración se presentaron ya en el “Estudio de Factibilidad del Proyecto Múltiple de Tavera”.

Y otros equipos e instalaciones, incluyendo carretera de acceso, patio de distribución y línea de transmisión²⁴.

Localización de la presa. Se consideraron *siete sitios* para la presa y embalse de López y de éstos, cuatro fueron eliminados en una evaluación preliminar. Los tres restantes fueron investigados en forma detallada en sus aspectos técnicos y económicos, y finalmente se eligió el sitio "C", ubicado en el área de un gran meandro en forma de herradura, en el río Yaque del Norte, a unos 2km aguas abajo del pueblo López.

Los **costos de construcción** del proyecto López fueron estimados en RD\$55.1 M (septiembre de 1977) excluyendo los incrementos de costos después de esa fecha y los intereses durante la construcción.

CUADRO AP 5A.1
COSTOS DE INVERSIÓN PROYECTO LÓPEZ
SEGÚN HARZA (MILLONES DE RD\$)²⁵

Costo de construcción (precios de septiembre 1977)	55.1
Incremento en precios	16.6
Intereses durante la construcción ²⁶	15.2
TOTAL	88.9

La construcción del proyecto estaba previsto que llevaría cuatro años, contados desde la fecha en que el contratista de construcción general iniciara sus trabajos. La fase inicial del proyecto de riego Yaque del Norte (PRYN) estaba supuesta a entrar en servicio en 1982-83, por lo que era necesario que la construcción del contraembalse se iniciara no más tardar a mediados de 1979²⁷.

El proyecto López *debería entrar en servicio a mediados de 1983*, o antes, para cumplir con la demanda de riego.

Re-Regulación del contraembalse. La re-regulación de las descargas de la central hidroeléctrica de Tavera requeriría un *almacenamiento útil* de 12M m³ en el embalse López. Este volumen se almacenaría en el embalse entre las cotas 217-225. Y adicionalmente se dispondría de 7M m³ si se baja el embalse a la cota 210.

Las *descargas del embalse López para riego, agua potable e industrial* oscilarían entre 7-46 m³/s. a lo largo del año. Y el embalse de Tavera-Bao tiene capacidad de suministrar descargas mínimas de 20m³/s todo el tiempo. Y en caso de que la turbina estuviera fuera de servicio, por mantenimiento, las descargas se efectuarían por las compuertas del vertedero.

La **central de energía hidroeléctrica** tendría una capacidad normal de generación de 18MW y produciendo un promedio anual de 124 millones de kWh. Este proyecto, cuando opere con un nivel normal máximo del embalse, en la cota 225m, desarrollará una carga bruta máxima de unos 47m para la producción de potencia y energía. La *central de energía* tendrá una capacidad instalada de 18MW y producirá unos 124 GWh en un año promedio.

24 HARZA ENG. - HANSON.RODRÍGUEZ .- "Proyecto López-Angostura: informe final de diseño y construcción" 1/2 y I/II-1.

25 HARZA ENG. - HANSON.RODRÍGUEZ .- o. c, 1/ 6.

26 Los intereses durante la construcción fueron calculados en base a las tasas de préstamo actuales de las agencias financieras internacionales.

27 HARZA ENG. - HANSON.RODRÍGUEZ .- o. c, 1/ 7.

El **embalse** se extendería unos 7.5km aguas arriba en el río Bao, hasta la toma de agua existente en Sabana Iglesia. Y por el río Yaque del Norte, se extendería hasta unos 3km aguas arriba de su confluencia con el río Bao.

En su cota máxima normal (225.0), el lago formado sería de 2.1km². Tendría un volumen total de 24M m³ y una profundidad máxima de unos 35m. Y cuando el caudal afluente excediera a la creciente de diseño de vertedero, el nivel del embalse sobrepasaría temporalmente la cota 225.0.

Para la implementación del proyecto sería necesario la *adquisición* de unas 220 ha de terreno parra el nivel del embalse por debajo de la cota 225. Y para los caminos de acceso, áreas de construcción y los derechos de vía para las líneas de transmisión, se deberían adquirir los derechos de inundación hasta la cota 230, es decir, unas 80 ha más y el área del embalse se despejaría hasta la cota 225m²⁸.

Sitios Alternativos. Se realizaron investigaciones en diversos sitios, entre la confluencia de las ríos Yaque del Norte y Bao y el Cañón Angostura. Por las razones mencionadas anteriormente. Lahmeyer estudió detalladamente tres sitios, recomendando el sitio llamado "A"²⁹.

Harza, en el presente informe, estudió siete sitios para la construcción del proyecto López entre los ríos Yaque del Norte - Bao, y la ciudad de Santiago, Dos de ellos fueron sugeridos por el estudio de Lahmeyer. Y, finalmente, se recomendó el llamado *sitio "C"*, por tener almacenamiento adecuado para una regulación semanal, un costo menor de construcción y menor costo unitario de potencia³⁰.

Operación del proyecto Tavera-López. El propósito principal del proyecto López es proporcionar una fuente regulada de abastecimiento de agua para el proyecto de riego y agua del norte y otros usos menores³¹.

La generación de potencia y energía, en la central de energía Tavera, debe ser de *carga base* mientras no hay un contraembalse de re-regulación aguas abajo. La construcción del proyecto López permite, por lo tanto, una generación pico en Tavera. *El embalse López será operado semanalmente*, de manera que se regulen las descargas pico de la central de energía de Tavera³².

Demanda de agua, aguas abajo del contraembalse. La demanda de agua potable e industrial en el área que incluye Santiago, Moca, Nibaje, Sabana Iglesia, Las Charcas, Baitoa y otras comunidades menores, alcanzaría un promedio de 2.1m³/s, si bien parte de esa demanda se cubriría por la extracción directa de agua del embalse Bao. Y se tuvo en cuenta, además, un caudal ecológico de 4m³/s, que fluiría permanentemente por el cauce del río Yaque del Norte aguas abajo de la toma del PRYN, así como para el uso consuntivo de los ribereños.

A los fines del estudio de operación se asumió que el retorno de las aguas después de su uso municipal e industrial equivale casi al 50% del volumen de demanda. Sin embargo, para el diseño del embalse López se hicieron asunciones más conservadoras y no se ha considerado caudal de retorno.

Manejo del Contraembalse. Para determinar el volumen necesario para la regulación de las descargas en el embalse López, se consideraron las condiciones extremas de caudal afluente y de salida.

28 **Cota 225m.** El nivel máximo normal del embalse se dispuso en la cota 225m a fin de obtener una mayor producción de energía y potencia. Si bien el proyecto puede operar con 12MMC de almacenamiento útil a un nivel máximo normal a cota 221. **HARZA ENG. - HANSON.RODRÍGUEZ** .- o. c, 1/ III-16.

29 **HARZA ENG. - HANSON.RODRÍGUEZ** .- o. c, 1/ 11-17.

30 **Siete sitios.** Los dos sitios sugeridos en el estudio de Lahmeyer (Sitios A y B) se encuentran cerca del pueblo de López. Dos sitios más (C y D) están situados en puntos donde el río Yaque del Norte forma un meandro en forma de herradura, aguas abajo y cerca de López. Los sitios E y F están situados en el Cañón Angostura, a unos 3km aguas abajo de López. El séptimo sitio (G) se encuentra cerca de Las Charcas entre la boca del cañón y Santiago. Los datos físicos y técnicos para cada uno de los sitios se presentan en las Tablas III-1 y III-2, respectivamente. **HARZA ENG. - HANSON.RODRÍGUEZ** .- o. c, 1/ IH-2.

31 **HARZA ENG. - HANSON.RODRÍGUEZ** .- o. c, 1/ III-10.

32 **HARZA ENG. - HANSON.RODRÍGUEZ** .- o. c, 1/ IV-2.

Los requerimientos máximos aguas abajo del contraembalse son de $46.7\text{m}^3/\text{s}$, si se asume que no hay retorno de caudal. La demanda de agua para riego es de $40\text{m}^3/\text{s}$, más los requerimientos de suministro de agua potable, industrial y los requerimientos mínimos de río, se obtiene una demanda máxima.

Bajo estas *condiciones extremas* el embalse López será operado asumiendo que la capacidad de descarga de la central hidroeléctrica de Tavera es $236\text{m}^3/\text{s}$, y que la demanda continua es de $46.7\text{m}^3/\text{s}$. Por lo tanto, el volumen requerido de regulación tiene que suministrar una descarga continua de $46.7\text{m}^3/\text{s}$,

De ahí que de re-regular 11.1M MC , para fines de diseño, se escogió un volumen de 12M MC , si se requiere una regulación diaria.

La **generación de energía**. La descarga mensual de Tavera puede mantenerse por debajo de $50\text{m}^3/\text{s}$, en todos los meses excepto nueve. Y por encima de 20m^3 en todos los meses excepto tres. El *agua en exceso de los $50\text{m}^3/\text{s}$* pasará por el vertedero de López. Y no habrá turbinación de las aguas del contraembalse, no habrá generación de energía si la descarga disponible es de menos de $20\text{m}^3/\text{s}$.

El promedio anual de producción de energía base en López es de unos 124 GWh . La potencia firme (potencia disponible con carga y caudal mínimo normal) es de 7 MW y la potencia máxima es 21 MW , la cual estará disponible, con carga máxima, para un caudal máximo de $50\text{m}^3/\text{s}$ ³³.

EL ESTUDIO DE LAHMEYER 1979³⁴

Introducción. El informe de Lahmeyer 1979 *actualiza* su informe anterior (1967). Modifica el potencial de la central hidroeléctrica de López y actualiza los estudios técnico-económicos sobre la presa del contraembalse de López.

Recomendó que la capacidad hidroeléctrica fuera de 7MW y la firme de 2.5MW produciendo un promedio de 40 GWh de energía neta al año. El nivel de operación máximo del embalse se elevó 1m para mejorar la operación pico de la central Tavera y mayor producción de energía en López.

En base a las últimas informaciones disponibles se vio la *posibilidad de reducir considerablemente los costos de construcción*, ubicando el sitio de la *presa en el río Bao*, poco antes de su confluencia con el Yaque del Norte. Y la presa, en este nuevo sitio, consistiría en un pequeño dique fusible de tierra, realizable en corto tiempo, permitiendo la temprana operación de pico de la central de Tavera. Los detalles de esta nueva concepción fueron expuestos en el "Informe Suplementario" al final este informe³⁵.

El contraembalse de López tendría su nivel máximo de agua en la cota 219.70m . Y se recomendó una central de energía con una turbina tipo "Bulbo" de 7 MW de potencia³⁶.

Componentes. El proyecto López se compone de una presa de hormigón con un vertedero de $5 \times 20\text{m}$ con compuertas radiales, una turbina "Bulbo" de 7 MW , y de un desagüe de fondo de $30\text{m}^3/\text{s}$ de capacidad (a cota 209.0).

La corona de la presa y el puente del vertedero permiten un tráfico vehicular de doble vía. El vertedero permite el paso seguro de una avenida de $7000\text{m}^3/\text{s}$, pudiendo dejar pasar hasta a un 30% más de ese caudal bajo condiciones extremas. Se ha prescindido para la operación de la presa del uso de la grúa de pórtico las compuertas de emergencia (stoplogs) de los vanos del vertedero³⁷.

33 HARZA ENG. - HANSON.RODRÍGUEZ. - o. c, 1/ IV . 8 - 10.

34 LAHMEYER - "Contraembalse López: Actualización del Estudio de Factibilidad". Enero 1979.

35 LAHMEYER - o. c, A i-ii

La **relocalización de la presa** se recomendó al contar con datos de topografía más depurados, y otras conclusiones de los últimos estudios.

36 LAHMEYER - o. c, F-2.

37 LAHMEYER - o. c, F-3.

Presa. Referente a la presa se efectuaron varios *cambios en el diseño*, respecto al estudio anterior, de 1967, en base a estudios posteriores sobre geología y modelos hidráulicos. Así, se aumentó el nivel del embalse en metro y se relocalizó la casas de máquinas a las pilas el vertedero.

Se recomendó una *presa de hormigón* con un vertedero de avenidas de 5 vanos con sus correspondientes compuertas radiales (de 20x11), y la corona del embalse en la cota 224.0m. Un desagüe de fondo con compuerta de segmento para regulación auxiliar, y una central con una turbina tipo Bulbo" de 7MW, instalada en el interior de la pila del vertedero de 10m de ancho³⁸.

Se prescindió de algunos elementos de la presa como las compuertas de emergencia (stoplogs) de 20m y la grúa de pórtico. Y en vista de la probabilidad menor de las crecientes durante la vida útil de la obra, se redujo el espesor de la losa de impacto a 2.2m. Las medidas contra erosión aguas abajo son igualmente mínimas. Y se previó un desagüe de fondo de 30m³/s de capacidad³⁹.

Todo esto supuso una disminución notable del costo del volumen de obra de la central y un incremento de los volúmenes de obra de la presa.

Contraembalse. La *finalidad* del contraembalse es recoger las descargas de agua de la central Tavera, durante su corta operación diaria de generación punta (unas cinco horas), para luego repartirlas uniformemente todo el tiempo, cubriendo las demandas de riego del proyecto de irrigación del Yaque del Norte.

Se recomendó que el embalse, de *re-regulación diaria* tuviera su nivel normal en la cota 219.70 (incremento favorable de sumergencia para Tavera). El volumen útil del contraembalse de 3.4Mm³ da flexibilidad de operación para las aguas turbinadas del Yaque del Norte y del Bao⁴⁰.

El contraembalse de López *solo, no puede satisfacer la demanda de irrigación*. La capacidad necesaria para eliminar todo déficit es de un orden cercano al embalse Tavera-Bao, si bien aguas arriba de Tavera-Bao existen interesantes posibilidades para embalses futuros.

Normalmente el suministro de los caudales de *irrigación se hará exclusivamente a través de la turbina de López*, pero en un 10% del tiempo se hará también por el desagüe de fondo, o una compuerta radical, para descargar los excesos de agua superiores al desfogue máximo de la turbina⁴¹.

38 LAHMEYER - o. c, A. 3-5.

39 LAHMEYER - o. c, F. 4-6.

40 **219.70, nivel máximo normal de operación del contraembalse**, 1 m más alto que en el estudio de 1969. Las razones para esta elevación del nivel de operación son las siguientes: 1) Minimizar las pérdidas de salto en el desarrollo integral del río, y así la energía producida por la central López alcanzaría los 2.5MW de potencia firme. Los niveles aguas abajo de la central de Tavera se elevaría, mejorando su funcionamiento. 2) Mayor elasticidad en la operación del contra-embalse aumentando la seguridad de su operación, al darle un volumen útil de 3.4Mm³ en condiciones extremas, y 3) Aumentar la potencia máxima de Tavera al incrementar la sumergencia de las turbinas, aumentando el nivel aguas abajo de las mismas.

Con el nivel máximo normal de operación antes señalado resulta un volumen total del contraembalse de 4.3Mm³. El volumen muerto abarca 1.4Mm³. El nivel mínimo normal de operación está en la cota 213.0, y el nivel del umbral del azud en la cota 209.0. LAHMEYER - o. c, F. 2-3.

El volumen útil de 3.4Mm³ para el embalse, de re-regulación diaria, fue determinado teniendo en cuenta el caudal afluente y el efluente del mismo. El caudal afluente al contraembalse está constituido por la descarga pico de la central de Tavera que supone unos 50m³/s.

Y el caudal efluente supone una demanda de unos 46.74m³/s de caudal aguas abajo de la presa del contraembalse. De ellos unos 40m³/s para riego (limitados por la capacidad del canal principal del sistema de riego (oscilando entre 43.3m³/s en julio y 11.5 m³/s en diciembre), 2.74 m³/s para suministro de agua potable a Santiago y Moca (hacia el año 2026) y 4 m³/s mínimo, para caudal ecológico del río Yaque del Norte, aguas abajo de la toma del canal de riego.

Desde este punto de vista los 46.74 m³/s sería el caudal efluente del contraembalse que determinaría su volumen útil. Sin embargo, a fin de conceder una amplia libertad de operación a las centrales de Tavera y López, se partió de un gasto afluente y efluente de unos 50m³/s distribuido uniformemente en las 24 horas diarias, equivalentes a un volumen útil del contraembalse de 3.4Mm³.

El valor de 50m³/s de caudal afluente al embalse, concentrado en un 8% del tiempo, es un valor máximo que debe ser revisado considerando los resultados de las investigaciones de Hydrocomp y Sofrelec.

El contraembalse cumple así su papel de transformar las descargas pico de la central de Tavera (que ocurren en unas cinco horas), en una entrega gradual para riego y otros usos durante las 24 horas del día. Incluso durante la presencia de condiciones extremas. LAHMEYER - o. c, D. 6-9 y G-6. Ver la Tabla G-2.

41 LAHMEYER - o. c, A.3-5.

Central hidroeléctrica. A la luz de los nuevos datos hidrológicos sobre el Yaque del Norte, de Hydrocomp se compararon **cuatro alternativas de turbinas y casas de máquinas**, buscando la solución más versátil para la entrega de los caudales regulados para irrigación y la más económica para suministrar la mayor cantidad de energía. Se fijó a la vez el nivel máximo normal del contraembalse en la cota 219.70, proveyendo una mayor flexibilidad de la operación de pico de producción hidroeléctrica. Y se aumentó el nivel de operación en la cota 213m, incrementando también la producción de la central López⁴².

Se recomendó el uso de una sola turbina tipo “Bulbo” de eje inclinado, por su rápida entrega y versatilidad de la potencia y energía, y menor costo de los equipos y de su obra civil. Por otra parte, el desarrollo futuro de la demanda de carga por la CDE parece no justificar la instalación de 100MW en la expansión de Bao, sino de una capacidad menor, para que sea rentable y complemente mejor la producción total de energía del complejo Tavera-Bao⁴³.

Y se recomendaron los siguientes *principios para la operación del embalse*:

- 1) No se admite restricciones para el riego, y de las descargas de la central López, que son casi siempre mayores que la demanda de riego, se asume que la toma de irrigación, en Santiago, desvía los caudales necesarios para el riego, dejando pasar todo exceso no requerido.
- 2) La turbina López descarga sus caudales dentro del rango de operación de 20 a 50m³/s, permitiendo ciertas sub y sobre-descargas. Pero los caudales sobre 55m³/s (un 7.5% del tiempo de operación) debe ser descargarse por el desagüe de fondo o por una de las compuertas radiales.
- 3) A fin de maximizar la producción de energía debe mantener el nivel del contraembalse tan alto como sea posible, vaciándolo según a la afluencia de agua. Esto significa que una vez al día el nivel del contraembalse alcanza la cota máxima normal de 219.70, justamente al finalizar la operación de pico de la central hidroeléctrica de Tavera.
- 4) Y los caudales afluentes menores a 20m³/s (5% del tiempo de la operación), sería preferible interrumpir la descarga para riego por unas pocas horas del día para poder operar la turbina con rendimientos mayores⁴⁴.

Construcción. El programa de ejecución de la obra *preveía la puesta en operación del proyecto López en diciembre de 1982*, considerando la prioridad de cubrir las demandas de riego y de carga pico de Tavera para la red de la CDE, se ha dispuesto de tres años para la ejecución de la obra.

Los costos de construcción se preveía que serían:

Costo total (Millones de RD\$,1979)	27.0
Presa ⁴⁵	20.0
Central hidroeléctrica	6.5
Otros	0.5

INFORME LAHMEYER SUPLEMENTARIO A SU ESTUDIO ACTUALIZADO DE FACTIBILIDAD (1979)

De los últimos estudios realizados por Harza, Hydrocomp y Sofrelec, se obtuvieron nuevos principios y criterios de gran significación para la planificación del complejo Tavera-Bao-López, que divergen

42 LAHMEYER - o. c, A-2.

43 LAHMEYER - o. c, E. 1-3 y 9-10.

44 LAHMEYER - o. c, G. 7-8.

45 LAHMEYER - o. c, F-8.

de los que fueron utilizados por Lahmeyer de 1969. Principios y criterios de los que se derivan, entre otras, las siguientes

Conclusiones

- 1) Si la presa del contraembalse se colocara en el río Bao, antes de su desembocadura en el Yaque del Norte, no se precisaría un vertedero de excesos, ya que los mismos pasarían por el río Yaque del Norte aguas abajo.
- 2) La presa recomendada sería de tierra o tierra-escollera de pequeña curvatura (unos 250,000m³), de tipo dique fusible - fácilmente reconstruible en caso de siniestro -, con un pequeño vertedero colocado fuera de la presa. Y la obra de desvío durante la construcción de la presa del contraembalse serviría, en caso de paro de su central, para la regulación de riego⁴⁶.
- 3) Para la instalación de la central hidroeléctrica habría dos posibilidades: integrada en la presa, la alternativa vigente. O al final de un túnel de 1.4km que cortaría la primera gran curva del Yaque del Norte, ganando así una caída adicional de 15m⁴⁷.

Entre las **ventajas de un cambio de la concepción** respecto al contraembalse de López están las siguientes están las siguientes:

- 1) Comienzo temprano de la operación del contraembalse. Y la presa se construiría en la mitad de tiempo que el diseño vigente.
- 2) Siendo una presa de tierra, y la central integrada con lo que los costos serían mucho menores que la solución prevista (unos RD\$17M), si bien la producción de energía sería ligeramente menor. Y con una presa de tierra y central separada, los costo serían todavía menores (unos RD\$23M), y la producción de energía sería mayor (60 Gwh /año)
- 3) Satisfacción de la demanda de riego sin, o con muy pocas restricciones.
- 4) Menor desembolso de divisas en los costos de la presa.
- 5) La construcción de la obra podría ser realizada por firmas locales, y
- 6) Habría menos daños durante las crecidas extraordinaria (mayor a 10,000m³/s)⁴⁸.

Criterios, conclusiones y ventajas, respecto los estudios anteriores, realizados en base a la escasa topografía entonces disponible. Conclusiones preliminares sí, pero para las que no se veían argumentos decisivos en contra y sí las ventajas antes enunciadas.

Recomendación de una solución integral. Una solución rápida y económica para el contraembalse, con mayor producción de energía que el esquema vigente, fue delineada anteriormente. Sin embargo, en vista de un desarrollo completo del río Yaque en la zona de López, se recomendó un *segundo salto* que abarcara hasta la Angostura. Este segundo esquema consistiría de un umbral (azud) simple de unos 8m de alto, localizado por el sitio de la Alternativa D de Harza, de un túnel de 1km, y una central al final (15m desnivel del río).

Las ventajas de este segundo esquema serían: aprovechamiento de un caudal doble regulado, con caída constante (unos 22m caída bruta), mínimas expropiaciones y posibilidad de estandarizar a las dos centrales (casa de máquinas tipo pozo cilíndrico, con capacidad semejante).

Un estimado preliminar de los costos de la solución integral propuesta, con los dos saltos, se estimaban así: *costo total RD\$40M (1978)*, dividido en esquema aguas arriba RD\$23M y esquema aguas abajo RD\$17M⁴⁹.

46 LAHMEYER - o. c, Ap. II. 1-2. Ver Figs.: 2-5.

47 LAHMEYER - o. c, Ap. 0-2 Ver Figs. 3.1-5.

48 LAHMEYER - o. c, Ap. II-3 Ver Figs. 3. 3,1 y 3.5.

49 LAHMEYER - o. c, Ap. II-4.

Siendo la producción de energía del desarrollo propuesto ligeramente inferior a la solución de Harza, y en vista de su costo menor se recomendó investigar mejor esta solución integral. Para ello sería necesario realizar en primer lugar la topografía de la zona del contraembalse e investigaciones mínimas de geología de los sitios de la presa de tierra y de las dos centrales.

6. OTRAS OBRAS Y PROYECTOS DE APROVECHAMIENTO HIDRÁULICO

ÍNDICE

<i>Introducción</i>	<i>298</i>
<i>Obras y proyectos detectados</i>	<i>298</i>
<i>Obras y proyectos de aprovechamiento hidráulico y el plan de manejo de la cuenca de Bao</i>	<i>305</i>
<i>Planes y proyectos de desarrollo en las cuencas hidrográficas de los ríos Bao y Yaque del Norte.</i>	<i>307</i>

INTRODUCCIÓN

Necesidad de desarrollo hidráulico. La *irregularidad en la distribución de las lluvias* hace que exista, en determinadas épocas del año, un *déficit de agua* para los cultivos e incluso para el consumo humano, obligando a su regulación y mejor aprovechamiento. Lo que unido a una *menor cantidad de lluvia anual* que el promedio histórico, no del todo verificado para el área por insuficiencia de registros pluviométricos, obliga a tener en cuenta las siguientes observaciones:

- 1) Es evidente que *los recursos de aguas de la cuenca son limitados*, al punto de *satisfacer con dificultad los requerimientos* para su uso en producción de energía. (An 1,15)
- 2) Y actualmente *se están planteando demandas adicionales* a las energéticas, para uso agrícola, urbano e industrial.
- 3) *Demandas altamente competitivas*, de un recurso hídrico escaso, que requerirán estudios de evaluación económica y social principalmente, de los varios proyectos de los distintos sectores que se pretenden desarrollar.

Se necesita clarificar las posibilidades del desarrollo y utilización de los recursos hidráulicos no comprometidos de la cuenca del Bao. Y para ello hay que considerar las restricciones *que imponen los numerosos desarrollos ubicados aguas abajo del complejo Bao-Tavera*¹.

La cuenca es tributaria de importantes desarrollos energéticos, agrícolas y de consumo humano del recurso hidráulico, que *comienzan abajo del complejo Bao-Tavera-López*.

Este complejo hidroeléctrico precisa de aportes hídricos perfectamente definidos los cuales difícilmente pueden ser variados, por lo que cualquier uso consuntivo del recurso en la cuenca no parece recomendable. *Las aguas usadas por el complejo sirven además a importantes desarrollos agrícolas* (cf. Fig. 4.2.3) cuya *regulación*, según los calendarios necesarios de riego de los cultivos predominantes parece ser poco compatible con el funcionamiento de las centrales.

Y en la cuenca del Bao existen diversos *proyectos en diferentes estados de desarrollo*, incluso a nivel de licitación y/o construcción. Interesan por su impacto en el mantenimiento y manejo de la zona, y se describen a continuación en su estado actual, indicándose su repercusión en la utilización *del recurso* hídrico de la cuenca.

Por lo que **sólo se analizaron los proyectos** de “*uso no consuntivo*”. Y los de “*consumo*” menor, recuperable, o que se estimó se podía suministrar con un buen manejo de la cuenca. Y se tuvieron en cuenta la disponibilidad del recurso, las demandas aceptables y el impacto que su desarrollo pudiese significar para la cuenca, en su conservación y manejo.

OBRAS Y PROYECTOS DETECTADOS

En la cuenca hay varios proyectos de aprovechamiento de los recursos hidráulicos. Un resumen descriptivo de los principales se indica a continuación, y su ubicación aparece en el Mapa No. 12.

¹ *Considerar las restricciones.* Y consecuentemente hay que analizar: 1) la problemática hidráulica general de la región; 2) los datos relativos al recurso disponible, y las demandas actuales y previstas para el futuro, dignas de agregarse al sistema; 3) analizar los resultados y formular estrategias; 4) Identificar y definir los proyectos necesarios para implementar mejor esa estrategia. (An2, 40).

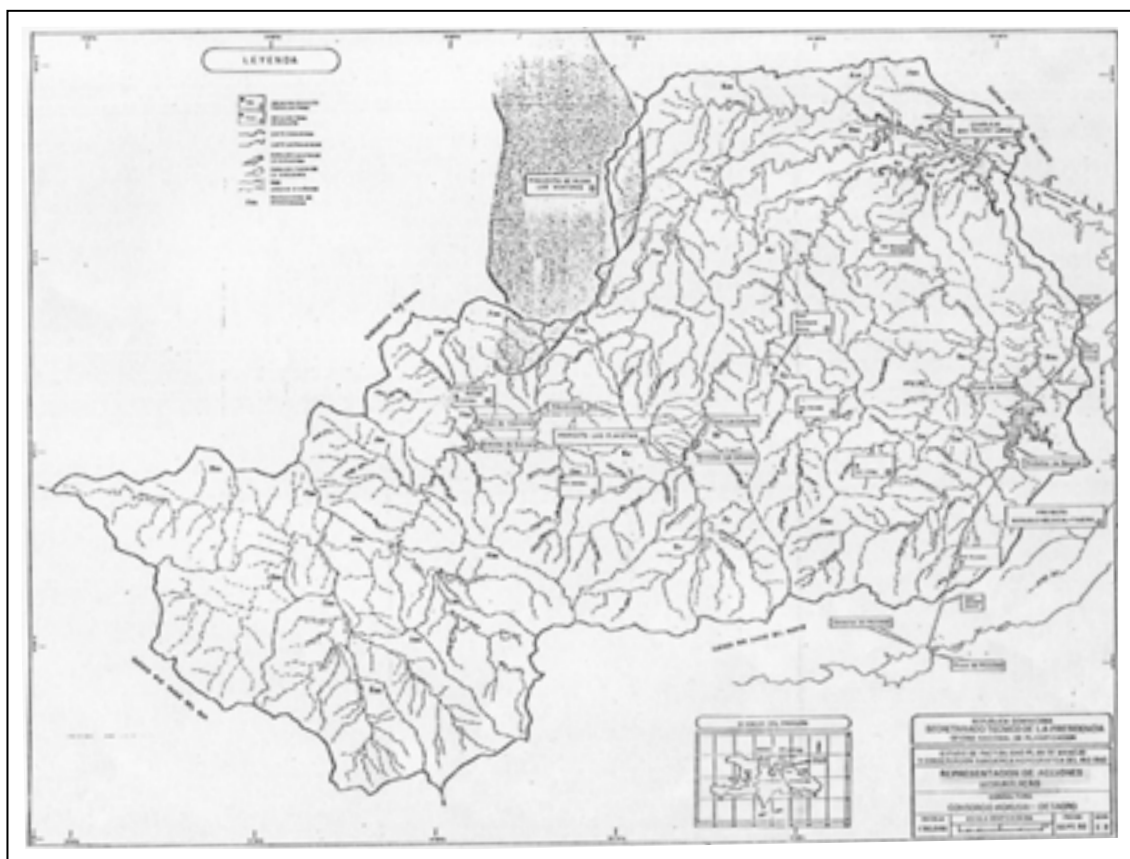


Fig. 6.1 (Mapa No. 12)
PROYECTOS APROVECHAMIENTO RECURSOS HIDRÁULICOS

1) Proyecto Manabao Bejucal Tavera. Proyecto hidroeléctrico compuesto de dos saltos en cascada, con una potencia total de 102.5 MW.

El primer salto captará el agua del arroyo Los Dajaos. Trasvase y presa en el Yaque del Norte. Conducción a presión a la central subterránea en Arenoso, y descargando por túnel (4.5km) al río Guanajuma. Línea eléctrica de 17km a Aguacate y Potencia de 21 MW, con salto neto de 138m.

El segundo salto (300m). Presa y embalse en Bejucal, río Guanajuma (45m³). Túnel de presión (7km) con chimenea de equilibrio y conducción forzada (1km) a la central de Aguacate, en la cola del embalse de Tavera. Línea eléctrica de 16.5km Aguacate. **(An2b, 50)**

Este proyecto no afecta al balance de la cuenca, representa un *uso no-consuntivo* del agua de la cuenca del Bao, *complementada con aguas de la cuenca alta del Yaque del Norte*. Su fin es la producción de energía adicional al complejo de Bao-Tavera, especialmente para Santiago y la Vega.

La eliminación total de los cursos del Yaque del Norte y el Guanajuma podría producir desequilibrios de importancia en el sistema. Este proyecto comenzó a gestarse mucho antes del proyecto del complejo Bao-Tavera- López Angostura.

Su costo se estima en unos US\$200M (1993). Dispone de diseño detallado a nivel de licitación desde 1985 y se está buscando financiamiento².

² Más detalles sobre cada uno de los diez proyectos principales detectados pueden verse en sus fichas, en el Anexo No. 2, pp. 49-69.

Fichas que tienen el siguiente contenido: Nombre del proyecto. Tipo de proyecto. Ubicación. Características. Beneficios. Estado actual. Costo aproximado. Observaciones. Referencias bibliográficas. Recomendación y prioridad.

2) Proyecto Las Placetas. Proyecto hidroeléctrico compuesto de dos saltos, con una potencia total de 12.60 MW.³

El primer salto (172.40m) tendría una presa derribadora de concreto en el río Bao, formando el embalse de Sabaneta. Túnel de desvío (10km) hasta el embalse de Los Limones, en el río Jagua, represado por una presa de enrocado (65.0m). Casa de máquinas subterránea en Las Placetas, con potencia de 87 MW. Descargan al Bao por un túnel de gravedad (13.1km), sin revestimiento. Producción de energía 331 MKWH/año.

El segundo salto (300m). Presa y embalse (45M m³) en Bejucal, río Guanajuma. Túnel de presión (7km) chimenea de equilibrio y conducción forzada (1 km) a la central de Aguacate en la cola del embalse Tavera. Línea eléctrica de 16.5km Aguacate-La Vega.

Beneficia a la región baja de la cuenca del Bao, Santiago y alrededores, la parte alta está prácticamente despoblada. Y sin posibilidad de líneas. El proyecto es muy recomendable y una prioridad muy alta para suplir el déficit de energía de Santiago y cercanías. Si bien debería revisarse el diseño de la eliminación del curso natural del Jagua.

El proyecto está a nivel de licitación desde 1985 y su costo es de unos US\$200M.

3) Proyecto de riego Los Montones. Es el único proyecto de uso consuntivo que se propuso y está promovido por el Plan Sierra. El agua que recibirá de la cuenca se complementará con aguas del río Amina.

Su objetivo es el riego de unas 1,000ha, ubicadas fuera de la cuenca principalmente, para la producción de cultivos perennes y otros no tradicionales. El riego previsto es por aspersión y goteo (0,65m³/seg.) y se prevén como fuente los afluentes del margen izquierda del Bao y/o el Inoa. Proyecto que ayudaría al mejoramiento de las condiciones de vida de la región de San José de las Matas.

Se recomendó hacer un estudio de factibilidad detallado que indique el beneficio/costo, incluyendo la pérdida en Bao-Tavera y aguas abajo, así como el sistema de riego en los terrenos concretos, antes de recomendar la reactivación de este proyecto (An2b, 54-55).

Su costo se estima en US\$10M (1993). El proyecto dispone desde 1985 de un detallado informe de reconocimiento.

En 1985 la FAO elaboró un estudio del proyecto de riego de Los Montones, realizando un informe de reconocimiento sobre la viabilidad técnica de las diferentes alternativas hidráulicas, agronómicas y económicas del mismo.

Los sectores seleccionados fueron Antonzape, Inoa y Bajamillo Y se consideraron como métodos de riego la aspersión, la mini-aspersión, y el riego por goteo. Además, contempla las obras de toma y embalse, la conducción principal y la puesta en riego en las parcelas, en un área total de 902ha.

La mayor parte de este proyecto está fuera de la cuenca de Bao, solo el arroyo de Antonzape está dentro de la sub-cuenca Bao y que a efecto de no afectar el caudal de este río, el estudio mencionado recomienda eliminar al río Bao como fuente de suministro, pues sus caudales de aprovechamiento hidro-energético se verían afectados.

El estudio incluye las descripciones de los datos básicos, estudios agronómicos, demanda de agua, recursos hidráulicos, análisis de alternativas, conclusiones y recomendaciones de acciones

3 Los caudales medios generados en el proyecto Las Placetas durante el estudio del mismo (34) fueron los siguientes:

	Rio Bao, Sabaneta	Rio Jagua, Los Limones
Mínimo	4.4m ³ feb. 1.5m ³ feb.	
Máximo	10.6m ³ mayo	3.9m ³ mayo
Promedio anual	7.5	2.4

Hay crecidas debidas a la actividad de sistemas tropicales y huracanes (mayo-junio; septiembre-octubre) y se nota el paso de frentes fríos (noviembre-diciembre) (12,13,17). Durante el huracán David, la crecida de los ríos Bao y Jagua en Sabana Iglesia fue de unos 2000m³/s. (CED-J&M, 27)

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

inmediatas a considerar. De acuerdo al Plan Sierra se está *en proceso de sometimiento del proyecto a los organismos financieros para su implementación*.

El estudio de este *proyecto debería concluirse hasta la etapa de factibilidad económica o social*, dada la importancia de su posible impacto en el incremento de la producción agrícola de la sub-cuenca.

El cuadro No. 6.1 presenta la relación entre las “Áreas de desarrollo y método de riego” (FAO, 1985). El cuadro No. 6.2 muestra los “Métodos de riego y cultivos” a establecer, incluyendo mango, macadamia, aguacate, cítricos y hortalizas.

CUADRO 6.1
ÁREAS DE DESARROLLO Y MÉTODO DE RIEGO

Sector o Área de Desarrollo	Procedimiento de Riego				Total
	Aspersión de Cobertura	Micro- aspersión Localizada	Riego por Goteo	Aspersión Móvil Clásica	
	Superficie (ha)				
Antonzape	144	248	---	---	392
Inoa	70	195	---	---	265
Bajamillo	43	123	20	59	245
Totales	257	566	20	59	902

Fuente: FAO (1985)

Debería estudiarse *la posibilidad de desarrollar otras áreas con regadío con métodos tecnificados, conscientes de que el recurso hídrico de la cuenca no debe disminuirse* con nuevos proyectos riego, para no afectar la operación del embalse.

Por ello, y dada la escasez de lluvias en ciertos períodos del año, **será necesario investigar también la disponibilidad y posible uso de aguas subterráneas**, para asegurar el abastecimiento de agua en la zona. Así como *la construcción de presas, y estanques* para embalsar las aguas de lluvia, y la habilitación de *bebederos para el ganado*. (KDA^{nl}, 17).

CUADRO 6.2
MÉTODOS DE RIEGO Y CULTIVOS

Método de Riego	Sistema de Cultivo					Total (ha)
	Mango	Macadamia	Aguacate	Cítricos	Hortalizas	
Aspersión con cobertura total	28	98	74	56		256
Micro-aspersión localizada	202	204	109	52		567
Riego por Goteo	---	---	---	---	20	20
Aspersión móvil clásica	---	---	---	---	59	59
Total	230	302		108	79	902

Fuente: FAO (1985)

4) Proyecto hidroeléctrico de Janey. Representa un *uso no-consuntivo* del recurso hídrico de la cuenca del Bao. Se construyó en 1982-1985 y llegó a funcionar unos meses, hasta que la central quedó dañada como consecuencia de unas precipitaciones. Su fin es la dotación de energía para las zonas vecinas a Janey y Juncalito.

Proyecto hidroeléctrico compuesto de *presa de hormigón en el Baiguaque*. Túnel de desvío, canal de conducción, cámara de regulación y tubería de presión descargando al Baiguaque de nuevo, desde una altura de 100m. La potencia del diseño era de 45 KW. (An2^b, 56).

Supone un *uso no-consuntivo* del recurso hídrico de la cuenca del Bao. Su objetivo es producir *energía adicional* al complejo Bao-Tavera-López para la parte baja de la cuenca, Santiago y alrededores. La parte alta está prácticamente despoblada.

El proyecto parece *altamente recomendable y con prioridad muy alta* para suplir el déficit de energía a Santiago y sus alrededores. Si bien conviene revisar la eliminación del curso natural del Jagua.

Sirve energía a una zona difícil de suplir por medio de otras centrales, y su costo de reconstrucción es relativamente bajo. Y *se recomendó su reestudio y reconstrucción como prioritarios*. Y los costos se podrían incluir en el proyecto de manejo de la cuenca.

Su costo se estima en *US\$200M* (1993). Dispone de un diseño a nivel de licitación desde 1985 y se busca financiamiento para su construcción.

5) Proyecto de Baiguaque (Henequén). El proyecto es de uso no-consuntivo. Se encuentra en fase de construcción y se recomendó incentivar su finalización.

El proyecto hidroeléctrico tiene una presa de hormigón en el río Baiguaque (10m de altura y 25m de coronamiento), túnel de presión con caída de unos 150m, casa de máquinas y canal de descarga al río Baiguaque, en la cola del embalse de Bao. La potencia de diseño es de 11,000 KW. La presa de regulación está prevista para regular todas las aguas del río dejando el curso natural del río seco por 1.5km, sin consecuencias de impacto en la cuenca. **(An2b, 58).**

La central iniciada en 1986 ha sido interrumpida varias veces por falta de presupuesto. Le falta un 30% de la construcción. Dispone de turbinas y le falta la tubería de presión y la línea.

Su objetivo es suministrar *energía eléctrica a Jánico y comunidades circundantes*, que en la actualidad la reciben de Puerto Plata con mucha irregularidad. La energía es para una zona suficientemente poblada y carente de otra posibilidad. Y el costo de terminación es relativamente bajo.

Se recomendó acelerar su terminación definitiva. Su costo de terminación es de unos *US\$250,000*, sin las líneas.

6) Proyecto hidroeléctrico de Jamamú. El proyecto representa un uso no-consuntivo de los recursos hídricos de la cuenca.

El proyecto se compone de una presa de hormigón de unos 15m de altura en el río Jamamú. Túnel de desvío (de 200m de sección circular), canal de acceso (250m) y tubería a presión con una caída de unos 200m a la casa de máquinas, descargando al río Jamamú. La potencia de diseño es de 974 KW. La presa está pensada para regular todas las aguas del río interrumpiendo el lecho natural del río por menos de 2km, sin impactos de consideración para el equilibrio de la cuenca.

El proyecto se inició en 1982 con los caminos de acceso, y *las obras quedaron suspendidas desde 1986*. Algunas obras que afectarán al proyecto empezaron a construirse por iniciativa comunitaria, que no siempre respetaron los diseños originales.

Su fin es suministrar electricidad a las comunidades entre Mata Grande y Los Montones, pudiendo extenderse a Jánico y San José de las Matas. Sería aprovechada por una zona suficientemente poblada.

Su costo es de unos *US\$12M*. Y *se recomendó revisar el diseño por el INDRHI y dar prioridad a su ejecución*, cargando sus costos, si fuere necesario, al plan de manejo de la cuenca.

7) Proyecto hidroeléctrico de Gurabo. Es un proyecto de uso no-consuntivo. Sus características básicas son: Potencia 620 KW, canal de diseño 0.41m³/seg, carga neta 180m, y potencia instalada 846 KW. Tiene solo diseño básico, y beneficiaría a las comunidades de Juncalito y sus alrededores.

Podría ocasionar inconvenientes al acueducto ubicado aguas abajo, en el mismo arroyo, al regularse las aguas según la producción de energía. Y con posible contaminación de las aguas.

Se recomendó re-estudiar este proyecto, considerando la producción eléctrica derivable de toda la cuenca. Así como la revisión del diseño. Su prioridad es relativa, y menor que la del acueducto.

Su costo se estimó en *US\$2.4M* (1986) **(An2b, 63).**

8) Proyecto de acueducto múltiple Antonzape Malo. El proyecto supone un uso consuntivo menor del recurso hídrico de la cuenca. Es un acueducto por gravedad con toma simple en forma de azud (3m de altura y 10m de coronamiento) y tubería principal de acero (15km x 12"). Beneficiaría a 25 comunidades con un total de 40,000 personas.

Está abandonado, a medio construir. Los costos estimados son unos US\$2.20M, cifra que se reduce a US\$1M, al descontar la parte construida y el trabajo de la comunidad.

Y en consideración a su *absoluta necesidad* para la población de la zona y a su estado de semi-construcción se recomendó dar *primera prioridad a su finalización*, que podría hacerse por INAPA, previéndose que sea un proyecto fácilmente rentable. Y sus costos deberían incluirse en el proyecto de manejo de la cuenca.

Se hizo un estudio de Factibilidad para un **proyecto de riego de 900ha en Los Montones**, por la FAO y el Plan Sierra (1985) (20). Estudio que no fue completado y fue abandonado sin resultado alguno.

El proyecto pensaba derivar el agua del arroyo Antonzape Malo, desconociéndose la demanda estimada de agua que representaba este proyecto de riego.

El acueducto de Antonzape Malo se está construyendo por las comunidades vecinas con el apoyo técnico de INAPA, para abastecer de agua potable a 25 comunidades de la zona. Su fuente es el **arroyo Antonzape Malo** y su demanda se prevé de 50 l/seg dentro de 20 años (0.05m³/seg para 2012). (23).

El lugar elegido para la toma del arroyo produce 25 l/seg en la actualidad, apenas el 50% de la demanda a 20 años. De mantenerse este caudal sólo podría abastecer el sistema en sus primeros diez años (2002), y no tendría capacidad para suplir la posible demanda del proyecto de riego "Los Montones".

En caso de ejecutarse el proyecto del acueducto, no podrán existir otros compromisos de uso de las aguas de este arroyo. Y su aprovechamiento para agua potable representaría para el complejo Tavera-Bao una disminución de caudal del 0.06%, valor que, dada la importancia de atender una población de 21,374 habitantes (23), se puede aceptar.

9) Proyecto de acueducto Jánico. Este acueducto también es de consumo menor, para dotar de agua potable a Jánico y varias comunidades cercanas. Acueducto por gravedad toma las aguas del arroyo Gurabo, con capacidad máxima de 1m³/seg y tubería principal de acero (20km x 10").

Se beneficiarían de este proyecto unas 60,000 personas, cuyas demandas para los próximos diez años alcanzan a 13.45 l/seg. Y para los próximos 20 años a 16.56 l/seg.

El proyecto incrementa sólo en una pequeña proporción la demanda de agua sobre el agua de la cuenca, pues el agua potable consumida actualmente por Jánico, en base al embalse de Bao, sería casi totalmente eliminable. El gasto medio disponible en la toma, de unos 2m³/seg, asegura el flujo constante y no atenta contra la disponibilidad del sistema.

Su costo es de unos US\$2M, según la actualización de INAPA, quien dispone de un diseño avanzado del mismo y ya se hicieron algunos trabajos.

Las necesidades de Jánico y comunidades cercanas hacen de gran urgencia acelerar este proyecto, que en todo caso *debería ser emprendido a la mayor brevedad*. Se recomendó como prioridad principal y costos a incluir en el proyecto de manejo de la cuenca (s/45).

Situación actual: Jánico atraviesa por una situación crítica en el suministro de agua potable. Su acueducto sobrepasó el período para el cual fue diseñado y la ciudad ha crecido y se ha extendido. Por otra parte, su fuente de abastecimiento es el acueducto de Sabana Iglesia, por bombeo desde esa planta de tratamiento, sistema que a su vez ha sido extendido a diferentes comunidades que no fueron contempladas en el diseño original (24).

Esta situación de escasez de agua hace que los habitantes de Jánico tengan que trasladarse al río Bao a 6km de distancia en busca de agua para uso doméstico o comprarla a vendedores.

INAPA ha realizado tres estudios y proyectos para independizar, remodelar y ampliar el

sistema de abastecimiento de agua potable de Jánico. Dos tienen diseño definitivo (25,26). Ninguno ha sido seleccionado hasta el momento y todos esperan que el Gobierno central asigne fondos para la ejecución de uno de ellos. Los proyectos básicamente son los siguientes:

- 1) *Bombear el agua del río Bao*, cerca del lugar denominado El Balneario. Su costo: RD\$6.5M(26).
- 2) *Derivar el agua por gravedad, desde el río Gurabo*. Costo: RD\$20.0M (25).
- 3) *Bombear el agua del río Bao*. Sólo tiene estudio de factibilidad. Costo estimado: RD\$3.7M (27).

La demanda de agua proyectada para Jánico es de 13.45 l/seg para dentro de diez años (2002) y de 16.56 l/seg, para dentro de veinte años (2012) de (25,26,27). (**An 2b, 16**).

10) Complejo Bao-Tavera-López. Es el proyecto de mayor uso consuntivo de la cuenca de Bao. Representa el consumo consuntivo final y total del recurso hídrico de la cuenca. Está en funcionamiento, y su consumo es el dato clave para saber el balance de disponibilidades y demandas hidráulicas de la cuenca.

Proyecto hidroeléctrico y de usos múltiples. Se construyó inicialmente el embalse Tavera, para la producción de energía. Y se amplió a un complejo que incluye el embalse de Bao, conectado por un canal de gasto ilimitado, y el embalse López Angostura diseñado para regular la descarga de Bao-Tavera según los requerimientos de riego aguas abajo del complejo. (**68**)

El complejo construido y en operación es de *uso consuntivo, de prácticamente la totalidad del recurso que recibe*. Solo se reserva un gasto mínimo constante para efectos de no secar el antiguo cauce del Bao (0,5m³/s promedio).

Sus beneficios actuales son producción de energía eléctrica, regadío y agua para consumo humano en todo el sistema del Yaque del Norte.

Se recomendó estudiar el dragado del embalse de Tavera. (**An2b, 69**)

Hay **otros proyectos que están en etapa de “informe inicial”** y se refieren principalmente a aprovechamientos del *potencial hidroeléctrico de la cuenca* (cfr. Cuadro #1 del informe original). Y hay una serie de desarrollos de iniciativa privada para conseguir agua para consumo humano y animal, principalmente.

Se considera que no afectan al manejo de la cuenca y sus recursos hídricos, dado su reducido consumo del recurso hídrico.

Parece innecesaria la identificación de nuevos proyectos, ya que entre los proyectos detectados, algunos de los cuales están muy avanzados, se encuentran algunos que sirven a los tres sectores principales que utilizan el recurso hídrico.

Por lo demás, el análisis de la demanda-disponibilidad del recurso hidráulico de la cuenca recuerda que **cualquier uso consuntivo es muy difícilmente compatible con el uso principal del recurso en la cuenca**, la dotación del complejo Bao-Tavera-López. (**s/45**)

Se recomendaron⁴ como **proyectos cargables al plan de mantenimiento y manejo de la cuenca**, sólo los considerados como de urgencia absoluta, en el caso de uso consuntivo. Así como la rehabilitación y equipamiento de estaciones meteorológicas e hidrométricas, que son necesarias para un buen desarrollo del manejo y conservación de la cuenca.

⁴ *Se recomendaron*. La evaluación y análisis de los diez proyectos principales puede verse en el Anexo No.2, pp. 46-49. Se recomendó analizar profundamente el impacto ecológico que pueden tener estos proyectos, en la cuenca y en toda la región. Algunos de ellos implican cambios de los cursos naturales de los ríos, en extensiones considerables.

Fueron recomendados diez proyectos para la zona, que incluyen los más importantes de los tres sectores que usan el recurso hídrico: generación de energía eléctrica, agua potable y agricultura (puede verse su descripción general y ubicación en la Fig. 7.1.1).

Los proyectos de mayor importancia y elevados costos, no se incluyeron como cargables al desarrollo de la cuenca.

Recomendaciones para el aprovechamiento del recurso hídrico de la cuenca del Bao

1. En la cuenca *el recurso hídrico tiene un uso hidráulico definido, principalmente por la demanda del complejo Bao-Tavera-López*, a la salida de la cuenca. Y se encuentra en un estado de equilibrio relativo, que no debe ser variado fundamentalmente.
2. Conviene asegurar e incrementar el recurso hídrico, aunque sea en cantidades reducidas y por ello se recomendó *la preservación de las fuentes primarias de los ríos en las partes altas de la cuenca*, mejorando sus láminas de escurrimiento. Estos cursos, ubicados principalmente en la zona de bosques, corrientemente envueltos en nubes, presentan condiciones de ETP favorables al balance hídrico.
3. Se recomendó, también, *implementar primeramente los proyectos que sean compatibles con el proyecto de anejo de la cuenca y que presenten usos no-consuntivos o consuntivos en pequeña escala*.
4. Deben *analizarse cuidadosamente los proyectos que signifiquen impactos importantes a la ecología de la cuenca* (p. ej. cambio de cauces). *Aun cuando sean de uso no-consuntivo*.
5. *Se recomiendan los proyectos de uso consuntivo menor para agua potable, dada la necesidad imperiosa de ellos. Pero deben ser estrictamente limitados en su capacidad máxima de utilización*. Y cualquier uso cuyas proyecciones futuras comprometan el delicado equilibrio actual es extremadamente peligroso.
6. *Los desarrollos agrícolas en gran escala no son recomendables*, desde el punto de vista de la utilización del recurso, por la demanda del mismo que ellos significan. Implicando, además, un difícil control de la demanda futura que podría alcanzar niveles insostenibles.
7. Y se insistió en la recomendación de *no intentar desarrollos agrícolas en terrenos absolutamente ineptos para la agricultura*, hasta que “en el valle no se agote la última tarea aprovechable”. Regla básica de sentido común del desarrollo agrícola que, de haberse respetado, habría evitado inmensos esfuerzos actuales de mantenimiento de cuencas altas, en las cuales el “manejo de suelo agrícola” debería ser innecesario. (An 2b. 71-72).

OBRAS Y PROYECTOS DE APROVECHAMIENTO HIDRÁULICO Y EL PLAN DE MANEJO DE LA CUENCA DE BAO

El estudio del **Plan de Manejo de la Cuenca de Bao** recomendó *dar prioridad a los proyectos convergentes* con la filosofía del mismo, cuyo estudio o desarrollo no exijan aportes excesivos por parte del plan (aportes que serían ayudas, en general, más que financiamiento total⁵). Recomendación que procura el uso racional del recurso hídrico disponible de la cuenca y respeta el delicado e importante balance demanda-disponibilidades de la cuenca.

Prioridad que incluye proyectos *hidroeléctricos* y de dotación de *agua potable*, de usos mínimos no-consuntivos del recurso hídrico, que son proyectos prioritarios. Su impacto ambiental

5 Se recomendó al proyecto de manejo de la cuenca del río Bao su participación en las obras y proyectos de aprovechamiento hidráulico de la cuenca. La inversión en estos proyectos por parte del plan se ve como un costo de inversión del plan de manejo.

Se estimó necesaria su inclusión en el proyecto debido al mejoramiento de vida que implica su desarrollo para los habitantes de la cuenca, y dado que cada uno de estos proyectos individuales contribuye al uso racional del recurso hidráulico, convergiendo con el manejo y conservación de la cuenca en su integridad.

no es de importancia, no presentan aspectos negativos respecto a la erosión o al incremento de arrastres, antes favorecen la retención de los arrastres que pueden afectar las estructuras aguas abajo del evacuador.

La *recomendación al plan*, para que la asumiera, se concentró en ayudar a la finalización y/o reconstrucción de dos pequeñas hidroeléctricas (Janey y Baiguaque-Henequen) y la finalización de dos acueductos importantes (Jánico y Antonzape), como costo de inversión de dicho plan. La inclusión del lago de retención del río Baiguaque contribuye eficazmente a un control de sus arrastres (288).

Proyectos a los que, en próximas fases debiera agregarse la *rehabilitación de las estaciones hidrológicas y meteorológicas* de la zona. Así como el restablecimiento, reconstrucción o nueva instalación de *estaciones hidrométricas* en los dos niveles de la cuenca, incluyendo los dos tipos principales de regímenes de ríos detectados.

**PROYECTOS RECOMENDADOS PARA INCLUIR EN EL PROYECTO
PLAN DE MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO BAO*
(Beneficios y Costos)**

- 1 *Hidroeléctrica de Janey*: Dañada, implica diseño y reconstrucción.
 - Proporcionará electricidad a Janey, Juncalito y otras comunides de la zona.
 - Aporte: RD\$1,250,000.
 - 2 *Acueducto múltiple de Antonzape*. Diseño y construcción.
 - Suministrará agua potable absolutamente necesaria a 35 comunidades, con un total de 40,000 personas que mejorarán sus condiciones sociales y de salubridad.
 - Aporte: RD\$1,250,000.
 - 3 *Hidroeléctrica de Baiguaque (Henequén)*. Avanzada, finalización.
 - Proporcionará electricidad a varias comunidades.
 - Aporte: RD\$3,125,000, sin incluir línea.
 - 4 *Acueducto de Jánico*. Construcción y finalización.
 - Suministrará agua potable a Jánico y alrededores, con unas 60,000 personas beneficiadas.
 - Aporte: RD\$13,750,000.
- * *Rehabilitación red hidrometeorológica*
- Beneficio indirecto, al facilitar datos muy confiables para mejorar el manejo de las aguas en calidad, cantidad y uso
- * *Empleo generado*
- Por la utilización de mano de obra, calificada y no calificada, durante la construcción y operación de los proyectos.

* *Proyectos recomendados*. La descripción general de los diez proyectos principales de aprovechamiento hidráulico existentes en la zona, incluyendo sus presupuestos y beneficios estimados pueden verse en el Anexo 2: "Recursos Hidráulicos", fichas de proyectos. Ver Mapa 12 "Representación de Acciones Hidráulicas".

Las **razones de incluir estos proyectos para financiamiento en el plan de manejo** son las siguientes. Todos estos proyectos, a excepción del acueducto de Jánico y Antonzape, *son de uso no-consuntivo* y tienen como propósito el aprovechamiento del recurso agua de la cuenca del río Bao *sin disminuir notoriamente el caudal hacia el embalse*. En el caso del acueducto de Jánico la derivaría del arroyo Gurabo (2m³/seg) y en el caso de Antonzape Malo se requiere sólo un caudal de 0.05m³/seg.

Solo se recomendaron proyectos de consumo doméstico por razones humanitarias. Y no *proyectos de irrigación* cuyo gasto implicaría una notable disminución de caudal hacia el embalse.

PLANES Y PROYECTOS DE DESARROLLO EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LOS RÍOS BAO Y YAQUE DEL NORTE

En la cuenca del río Yaque del Norte hay especialmente dos proyectos hidráulicos de importancia considerable: el *complejo hidroeléctrico Tavera-Bao-López* y el *distrito de riego en el Yaque del Norte*. Ambos ejecutados por el Estado dominicano con asistencia financiera del BID.

En 1986 se inició, y posteriormente se suspendió, el proyecto hidroeléctrico *Manabao-Bejucal-Tavera*. Y se preparó el estudio de factibilidad del proyecto *Las Placetas-Los Limones-Bao*.

El complejo hidroeléctrico Tavera-Bao

El complejo hidroeléctrico Manabao-Bejucal-Tavera-Bao-López se basa en el suministro de agua de la parte superior de la cuenca hidrográfica de los ríos Yaque del Norte y Bao, incluyendo las sub-cuencas de los ríos Janico, Jagua, Baiguaque y Guanajuma. El área total es de 1,692km², de los cuales el río Bao con sus sub-cuencas constituye 908km² (53.7%).

En 1ª fase se creó el embalse de Tavera y una central con una capacidad de 80MW, en funcionamiento desde 1973.

La 2ª fase del proyecto fue la construcción del embalse de Bao, con un canal de interconexión entre los embalses de Tavera y Bao, en operación desde 1982. El embalse de Bao tiene un punto de salida para una posible planta hidroeléctrica complementaria, para horas de alta demanda de energía, con una capacidad de 100MW.

La 3ª fase fue la construcción del contra-embalse de López en el río Bao, terminado en 1987. Regula las descargas de agua desde la central Tavera/Bao para ser usadas para riego, y consta además de una central en Angostura con una capacidad instalada de 18MW.

La 4ª fase era la realización del sistema hidroeléctrico complementario Manabao-Bejucal-Tavera, todo él en la cuenca del Yaque del Norte, iniciado en 1986 y suspendido posteriormente. Proyecto que consiste en:

- 1) una presa derivadora con regulación diaria en Manabao.*
- 2) una presa de embalse en Bejucal, sobre el río Guanajuma, y*
- 3) dos centrales, una en Arenoso de 20MW (salto Manabao-Bejucal) y otra en Aguacate de 80MW (salto Bejucal-Tavera).*

La 5ª fase sería el proyecto hidroeléctrico Las Placetas, que consta de una presa derivadora en el río Bao, un túnel de trasvase al río Jagua, la presa de embalse de Los Limones y una central hidroeléctrica en Las Placetas con una capacidad nominal de 87MW.

Y la 6ª fase sería los pequeños proyectos de Baiguaque, Jamamú, Gurabo, Las Guazaras y Yujo.

Una vez completados los sistemas hidroeléctricos Manabao-Bejucal-Las Placetas-Tavera-Bao-López, junto con los pequeños proyectos, conformarán el complejo de obras hidráulicas más importante de la Rep. Dominicana.

Proyecto de riego del Yaque del Norte

El complejo Tavera-Bao-López, instalado en los ríos Yaque del Norte y Bao, forma la base de la infraestructura de riego y drenaje en un área de unas 44,000ha en la parte noroeste de la República Dominicana, dominadas por el proyecto de riego Yaque del Norte (PRYN), que consta de los canales Ulises Fco. Espaillat y M. Bogaert.

Los objetivos de este proyecto son aumentar sustancialmente la productividad de las áreas bajo cultivo e incorporar otras nuevas de alto valor potencial agrícola. En los valles medio y bajo del río Yaque del Norte, especialmente, los suelos son muy fértiles pero la precipitación es muy escasa.

Los cultivos más extendidos en la región son arroz, caña de azúcar, tabaco, maíz y pastos. Y con riego y drenaje eficiente la producción puede hacerse mucho más intensiva y diversificada.

Una protección y manejo adecuado de los recursos hidrológicos de la cuenca del río Bao, y de los recursos naturales que los condicionan, es importante. No sólo para los habitantes de la cuenca, sino también para la población de los valles aguas abajo de la misma. **(CID-J&M, 6-9).**

7. RECURSOS NATURALES

ÍNDICE

<i>Introducción</i>	310
<i>Situación actual</i>	310
<i>Situación agrícola</i>	318
<i>Pastos y ganadería</i>	320
<i>Conflictos de uso y reordenamiento del uso de la tierra</i>	323
<i>Tenencia de la tierra</i>	328

INTRODUCCIÓN

En la cuenca del río Bao hay dos zonas forestales claramente distintas. La cuenca tiene un área de 85,427ha y de dicha superficie 34,025ha (39.34%) pertenecen a *los bosques protegidos del Parque Nacional J. Armando Bermúdez (JAB)*.

Y las restantes 52,475ha (60.66%) están cubiertas de *bosques ralos, sujetos a una fuerte tasa de deforestación*, con una alta susceptibilidad a la erosión.

Los bosques de la cuenca corresponden al **bosque subtropical, sub-húmedo y seco**. El *pino criollo* (*Pinus Occidentalis*)¹ es la especie de mayor importancia económica en la cuenca y la conífera más importante del país, con la mayor utilización y adaptación a una gran variedad de temperaturas, precipitaciones y suelos. Y le siguen en importancia económica el cedro, el capa y el olivo, entre otros.

La mayor producción forestal es de pino y guama. Mientras que el monte natural, montes de escaso valor, se utiliza como fuente de leña y pastoreo mal acondicionado².

Clima de la zona boscosa. La *temperatura promedio* de la zona está entre 12-21°C durante los tiempos normales. Pero en invierno (diciembre y enero) puede llegar hasta 8°C *bajo cero*, como se ha detectado en el *Valle de Bao y Macutico*.

Y la *precipitación media anual* está entre los 1,000-4,000mm. (KDAñl, 60).

Descripción del área forestal. A medida que se avanza hacia el este de la cuenca el bosque se va tornando de conífera a latifoliado. Luego de transición de bosque húmedo a seco, y finalmente se torna seco cerca de las presas.

Las especies más comunes siguiendo el mismo orden, de latifoliado a bosque seco, son: palma real, roble, guayaba, cambrón, candelón y aroma, entre otras.

La mayoría de los suelos son muy poco profundos, por lo que muchas especies no se adaptan. Otras razones por la que algunas especies de rápido crecimiento no se aclimatan bien son *la altura, la baja fertilidad, y el PH de los suelos*. Es decir que esos suelos son puramente de vocación forestal para algunas especies determinadas. (KDAñl, 55)

Importancia de los bosques de la cuenca de Bao. Los recursos forestales existentes en la cuenca de Bao tienen *una influencia directa en la cantidad y calidad del abastecimiento de agua para la generación hidroeléctrica de las presas de Bao y Tavera, la agricultura, y el agua potable en la región del Cibao*.

Esto se debe al efecto del bosque en *mantener equilibrado el ciclo hidrológico de la cuenca, regulando la interceptación, infiltración y escurrimiento del agua en el suelo, reduciendo así la erosión y asegurando el abastecimiento hídrico*. (KDAñl, 51)

Además de su importancia como *riqueza maderera*. La reforestación es muy baja.

SITUACIÓN ACTUAL

La cuenca tiene una gran riqueza forestal. Un 42% *de la misma está todavía cubierta por el bosque natural*, que la protegió de la erosión durante muchos años³. Riqueza que existe a pesar de que se redujo fuertemente en los últimos años, lo que urge a su protección e incremento, con un manejo adecuado.

1 Según COEPRO, el *pino criollo* se extiende en la cuenca desde los 1,200 a los 2,500m/snm, en tres estructuras de bosque diferentes, siendo la especie más común en el parque y en toda la parte oeste y noroeste de la cuenca. La mayoría tiene entre 35-45cm de DAP (diámetro a la altura del pecho). Y se estima que el bosque crece a una tasa promedio de 1.6m³/ha/año, sin tener en cuenta los pinos que mueren.

Otras especies de importancia son el cedro, capá, olivo, nogal, palma serrana, y sabina macho, entre otras.

2 KDF93/ 65.

3 Los bosques cubren un 42% de la cuenca. Porcentaje que incluye sólo el bosque y no los matorrales que están dispersos en toda la cuenca.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

El recurso agua es abundante en la zona, por la existencia de cinco ríos y una serie de arroyos. Lo que ha posibilitado el desarrollo de los bosques naturales y los recursos forestales. (KDF93, 65)

Son bosques *de diversos tipos*, dependiendo de la altura y humedad. En las partes altas dominan los bosques de pino y en las bajas los arbustos, utilizados generalmente como fuente de leña para la población. Y gran parte de los mismos pertenecen al Parque Nacional Armando Bermúdez.

Inventario dasonómico. En 1985 el *bosque muy denso equivalía a 974,402m³* de madera (55 m³/ha). Y el *bosque denso de pinus occidentalis* a unos 171,900 m³ (45m³/ha) principalmente en la parte sur de la cuenca.

Los bosques con cobertura clara o rala se estimaron entre 35-40m³/ha, y en algunos lugares muy dispersos hasta 25m³/ha. El tipo de bosque muy claro, su volumen es insignificante.

El tipo de cobertura forestal de la cuenca puede verse en el Cuadro 7.3.

CUADRO 7.1
COBERTURA FORESTAL: ÁREAS, DENSIDADES Y VOLÚMENES*

Densidad	Área (ha)	Volumen (m ³ /ha)	Volumen Total (m ³)
Bosque muy ralo	647.5	25	---
Bosque ralo	12,731.3	35-40	---
Bosque denso	3,820.0	45	171,900
Bosque muy denso	5,547.5	55	974,402
Bosque muy denso y pastos	5,547.5	40	221,900
Matorrales	1,184.3	---	---
Total	29,478.1		1,368,202

* Especies Predominantes: Pinus Occidentalis, Pinus Caribaea, Bosques Latifoliado, Bosques Mixtos.
Fuente: CONATEF 1985 (KDAñl, 53-54)

CUADRO 7.2
COBERTURA FORESTAL DE LA SUB-CUENCA

Tipo de Cubierta	Superficie (ha)	Cobertura (%)
1. Bosque seco	132	0.16
2. Bosque latifoliado	7,910	9.13
3. Bosque conífero	14,320	15.53
4. Pastos/bosque conífero	3,405	3.93
5. Bosque mixto	12,570	14.51
6. Matorrales	3,550	3.87
Total	41,887	48.13

Fuente: DIRENA(1985). (KDAñl, 51)

CUADRO 7.3
COBERTURA FORESTAL DE LA CUENCA

Tipo de Cubierta	Superficie (ha)	Cobertura (%)
1. Bosque seco	132	0.32
2. Bosque latifoliado	7,910	18.88
3. Bosque conífero	14,320	34.19
4. Pastos/bosque conífero	3,405	8.13
5. Bosque mixto	12,570	30.01
6. Matorrales	3,550	8.47
Total	41,887	100.00

Fuente: Departamento de Inventario de Recursos Naturales de la SEA (1985).

Parque Nacional “J. Armando Bermúdez” (JAB)

Gran parte de la cuenca del río Bao está localizada dentro del área y bajo la administración del Parque Nacional JAB, que es **una de las áreas silvestre protegidas en el país** y fue creado como *reserva forestal en 1956 (Ley 4389)*. Abarca 34,600ha, casi el 40% de la cuenca.

Es un área valiosa por su cobertura boscosa y los recursos genéticos que encierra, los cuales son los responsables del mantenimiento del *equilibrio ambiental y de la regulación de las fuentes acuíferas*.

Y los eventos devastadores, de diversa índole, en el Parque Nacional han sido mínimos, a diferencia de otros parques en donde ha habido una vasta invasión de terrenos.

En este parque están los picos más altos de la República Dominicana y las Antillas. El pico Duarte (3,175m/snm) y La Pelona (3,087m/snm), que es donde nace el *arroyo Baitoa, el manantial que aflora a mayor altura* en la República Dominicana, entre otros. (KDAnt, 59)

Tiene áreas con conflicto de uso, actividades agrícolas y pastoriles dentro de los límites jurídicos del parque. Y en ocasiones justifican, desde el punto de vista ecológico, una reclasificación de partes concretas del parque. Así, por ejemplo, los límites bajos del mismo no se ajustan a las características de un parque, dificultando su administración, justificación y control.

Hay *conflictos de uso conservacionistas vs uso productivo* en extensos sectores del parque nacional, que hay que resolver redefiniendo las áreas que corresponden a la categoría de parque o reserva forestal y reconociendo las áreas que deben tener una categoría menos restrictiva, con posible manejo silvicultural productivo. Especialmente en las micro-cuencas del sector sur-occidental.

El parque tiene su propio **plan de manejo** y conservación **de parque nacional**, a ser implementado por la Dirección Nacional de Parques. Los *objetivos* del plan son orientados a “la conservación de las cuencas hidrográficas de los ecosistemas nacionales asociados y la armonización del uso racional de los recursos naturales”. Su *implementación es una necesidad urgente* para la protección del nacimiento y la cuenca hidrográfica de los ríos dominicanos más importantes.

Por su parte el plan de manejo de la cuenca de Bao recomendó asumir, dentro de dicho plan, el costo y el desarrollo de algunas de las actividades propuestas por el Plan de Manejo del Parque Nacional, dentro de las limitaciones y reglamentaciones del mismo, evitando cualquier acción que pueda romper el equilibrio natural de su ecosistema⁴.

⁴ La política del parque nacional es conservar en su estado natural los recursos naturales del área y preservar la condición general de ésta para observar sus procesos evolutivos, asegurando técnicas de manejo que mantengan la estabilidad de los ecosistemas naturales. Máxime cuando el área del parque es geológicamente joven, con tendencia a ser erosionado. Lo que hizo más necesaria la preparación de su propio plan de manejo.

Convendría dar *prioridad a la protección y rehabilitación de dos de las 19 micro-cuencas que conforman el parque nacional* por su alto riesgo de *erosión*, pudiendo acelerar el proceso de transporte y sedimentación de los sectores bajos y las obras de regulación existentes. **(KDF93, 84 y KDAñ, 184).**

PARQUES Y RESERVAS NACIONALES: ACTIVIDADES NO PERMITIDAS

Desde el punto de vista legal, en cualquier demarcación de los parques y reservas está estrictamente prohibida la realización de las siguientes actividades:

- 1) *Talar árboles y extraer plantas o cualquier tipo de productos forestales. Salvo que se trate de colección de pequeñas muestras para fines científicos.*
- 2) *Cazar o capturar animales silvestres.*
- 3) *Hacer fuego fuera de las áreas asignadas y provocar incendios.*
- 4) *Introducir animales o plantas exóticas, excepto en las áreas recreativas.*
- 5) *Construir presas y otras instalaciones hidroeléctricas.*
- 6) *Ceder tierras o permitir el establecimiento de instalaciones a personas, grupos u organizaciones privadas o públicas.*
- 7) *Realizar cualquier tipo de actividad comercial, agrícola o industrial; entre otras restricciones.*

La deforestación es un problema creciente

El área forestal se redujo en 26 años a un 50% de la que tenía en 1959 (período 1959-1985), fuera del área del parque nacional.

Y estudios recientes indican que en 1992 la *reducción había llegado a un 41% en general, y a un 20% del bosque denso*, respecto a 1959. El corte del bosque se ha acelerado y *ya no existen bosques maderables, prácticamente, en el sector bajo los 1,000m/snm* en la actualidad.

Reducciones que se debieron al corte masivo *para madera comercial*, hasta mediados de los 60. Y al corte continuo, aunque a ritmo menor desde su prohibición 1967, para el abastecimiento de *leña, carbón y madera para uso doméstico*. **(KDF93, 70)**

Un estudio comparativo de imágenes Landsat y fotografías aéreas (de 1959 y 1985, respectivamente)⁵ sobre la evolución de una microcuenca de 2,060ha, ubicada en el sector medio de la cuenca de Bao, indica que en ese período de 27 años:

1. La reducción del área de bosques fue del 50%.
2. El incremento de áreas erosionadas fue de 22%.
3. El incremento de terrenos con deslizamiento de suelos fue de un 100%.

Y datos recientes indican que en la zona boscosa de la cuenca del Bao el área de bosque muy denso se redujo en un 20.8% en siete años (1985-1992), según un estudio de evaluación del uso de la tierra.

Todo lo cual indica, para quien quiera entender, que la situación de la deforestación se agrava cada vez más. Y que, de no intervenir, en un futuro próximo la situación deteriorada de la cubierta

⁵ *Imágenes Landsat y Fotografías aéreas.* La cobertura fotográfica incluye toda la cuenca del Bao. El material de imágenes aerofotogramétricas de la región se encuentra procesado, junto con un interesante material de imágenes satelitales en DIRENA. E integrados a procesos de *ordenadores*. **(An 2, 6)**

La cartografía disponible cubre toda la zona y reproduce, en general, las cartas básicas del "Army, 1962" (1:50,000). Esta serie tiene el inconveniente para los estudios de desarrollo hidráulico, de que no indican con precisión si los cursos fluviales son perennes o temporales. Y hay además, una *diversidad en la denominación* de los arroyos e incluso de los cursos principales que dificulta el análisis.

Hay una cartografía adicional preparada por la OEA 1981 para del Plan de Desarrollo del Cibao (ONAPLAN).

vegetal agravará los problemas de erosión, deslizamientos de tierra, sedimentación de cauces y embalses, daños a las obras hidroeléctricas, riego, acueductos, riesgos y encarecimientos de los servicios básicos a la población.

La deforestación actual se estima en un 70% del área boscosa de la cuenca del río Bao, área muy densamente forestada en otras épocas. Sus terrenos están siendo utilizados para *ganadería* (44.5%) con pastos de muy abajo rendimiento.

Deforestación que *frecuentemente ha sido intencional*, para hacer cambios en el uso de los suelos de la zona.

Y que en todo caso es usufrutuada además por los conuqueros, como consecuencia de una agricultura nómada, por falta de tierras para el que las trabaja. Y por los vendedores de leña y de madera comercial, entre otros. En República Dominicana un 80% de la población rural utiliza leña y carbón como combustible, ejerciendo una presión creciente sobre los recursos forestales.

La agricultura de tumba y quema es causa importante de la reducción de la cubierta forestal en el sector medio y bajo de la cuenca. Los incendios forestales representan una de las causas más importantes de la reducción de la cubierta forestal en la cuenca.

Y la reforestación es altamente insuficiente. Sólo se han reforestado 181.5ha durante el período 1979-1989, según las metas de forestación alcanzadas en el área de proyecto, mientras que el área está deforestada en un 70%⁶

Reforestación que se hizo con árboles maderables, frutales, café y rompe-vientos.

La deforestación creciente es el problema más grave del sector forestal a nivel nacional y regional. Problema que se aprecia en forma *más aguda en la región montañosa central, en la que se ubica la cuenca del río Bao*, estando asociado a la presión de uso de tierras forestales para cultivos agrícolas o pastoreo.

El impacto económico, social y ambiental de esta problemática *condiciona fuertemente las posibilidades de un desarrollo sostenible* de la población, y afecta las inversiones públicas y privadas. La situación actual de la cuenca muestra una *tendencia persistente de reducción de la cubierta vegetal y del espacio económicamente productivo*.

Todo lo cual está asociado a *condicionantes de tipo legal, económico, de manejo y tenencia de los recursos naturales*, en un contexto en el que se requiere fomentar una clara conciencia forestal ante la fragilidad de este recurso natural, si se quiere lograr el desarrollo sostenible de los moradores de la zona.

En todo caso *el bosque natural constituye casi un 50% de la superficie de la cuenca, lo que favorece fuertemente el manejo de la cuenca* al quedar éste limitado a los tratamientos usuales de la protección por reforestación, de la superficie protegida por el bosque.

Problemática de fondo. *Los cortes clandestinos de madera y la falta de planes de manejo de los bosques* de la cuenca limitan seriamente las iniciativas de protección y manejo del bosque.

Baja identificación y motivación de los agricultores con la protección de los bosques y los recursos naturales, en general, por falta de titularidad legal y/o práctica sobre los mismos. De ahí la importancia del *saneamiento de la tenencia de la tierra y del bosque*.

La ausencia de acciones integrales, que contemplen el ámbito legal e institucional, para enfrentar la problemática de los recursos forestales de la cuenca. Lo que se refleja en escasa asistencia técnica, transferencia de tecnología y extensión rural. (KDAñl, 57)

⁶ *Insuficiente reforestación.* La superficie reforestada a nivel nacional hasta 1990 fue de unas 10,000ha (CONATEF, 1991). Y sólo el área boscosa de la cuenca del río Bao tiene 52,475ha, con un 70% deforestadas. (KDAñl,58).

CAUSAS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA CUENCA DE BAO

La agricultura migratoria en gran escala (tala, corta y quema).
Pastoreo extensivo en áreas montañosas.
Asentamientos humanos en terrenos con características forestales.
Cortes indiscriminados con fines energéticos, de uso doméstico, agrícola y comercial.
Dependencia en un 30% de la dendroenergía para la cocción de alimentos por la población.
Expansiones urbanas sin normas ni control.
Aperturas de vías de acceso sin tomar previsiones conservacionistas.
Lentitud en la aplicación de las leyes forestales.
Explotaciones mineras de cielo abierto.
Incendios forestales.
Plagas no controladas.

EFFECTOS SOCIALES Y ECONÓMICOS DE LA DEFORESTACIÓN A NIVEL DE LA CUENCA Y ÁREA DE INFLUENCIA

La deforestación afecta en forma progresiva a los siguientes ámbitos:

1. La *disponibilidad de leña* para el consumo familiar en prácticamente la totalidad de la población. Así como para pequeñas industrias locales de muebles y pan.
2. La *calidad y cantidad de los recursos hídricos disponibles, para agua potable y riego*. Hay estudios que demuestran que un factor limitante para proyectos de desarrollo agropecuario lo representa la falta de agua en períodos críticos en el año.
3. La *dependencia total de las importaciones para satisfacer la demanda de madera industrial y para muebles*, siendo cada día menos accesible a la mayoría de los sectores sociales debido a los altos precios que hay que pagar.
4. La *productividad de los suelos agrícolas disminuye de manera alarmante*, con mayor intensidad los ubicados en las montañas, de donde depende en gran proporción la producción de habichuela y víveres.
5. *Prematuro azolvamiento de los embalses*, reduciéndose su vida útil y ocasionando serias *dificultades* para la producción de energía eléctrica, suministro de agua potable a la población y para regadío.
6. *Desaparición de las fuentes naturales de proteína de los campesinos* representada por la fauna terrestre y acuática.
7. *Pérdida de importantes recursos genéticos*.

No obstante lo anterior se aprecia en la actualidad que:

- a. *La gran mayoría de las cañadas están bien forestadas en los márgenes* lo que garantiza una baja contaminación de las aguas en las mismas.
- b. *Algunos campesinos están usando prácticas de conservación de suelos con pachulí y caña de limón*, asesorado por los técnicos del Plan Sierra.

Recomendaciones

Estrategias y planes para afrontar el problema forestal de la cuenca de Bao. Todo indica que la situación de la cuenca tiende a agravarse y que, de no implementarse programas de desarrollo forestal, el deterioro de la cubierta forestal y vegetal causará problemas serios.

Problemas de erosión, deslizamientos de tierra, sedimentación de cauces y embalses, daños a obras de infraestructura y perjuicios a la población en sus servicios básicos como hidroeléctricos y agua potable.

Para solucionar en forma significativa el problema forestal de la cuenca de Bao, y los problemas que éste desencadena, se hicieron las siguientes recomendaciones:

- 1) Plantación del 50% del área desforestada, por lo menos, principalmente en los sitios con problemas de erosión.
- 2) Mejorar la productividad del bosque, los cultivos agrícolas y los pastos. Hacer innecesaria la tala y la tumba de árboles indiscriminada, el uso de los suelos con vocación forestal para cultivos de subsistencia a la desesperada.
- 3) Detectar y promover áreas de pastos con uso mixto forestal (silvopastoriles, agroforestales). Se estima que deben cambiar de uso un 20-30% del área de los pastos actuales. Y la “reducción” del área de pasto puede compensarse incrementando su productividad, con especies de mayor rendimiento y con la fertilización de los mismos.
- 4) Fomentar la reubicación de los bosques, según sus tipos:
 - a) Los bosques productores (de madera, follaje, corteza, etc.) deben ubicarse en pendientes de hasta un 35%, moderadamente escarpadas, donde el drenaje y la erosión son más fácilmente controlables.
 - b) Los bosques protectores (para producción de agua y protección del suelo) deben establecerse en sitios muy escarpados, con pendiente superior al 55%. Y en las cabeceras de los ríos, sin importar la inclinación.
 - c) Y los bosques de uso múltiple pueden ubicarse en pendientes entre 35-55% de inclinación. (KDAnI, 60-61)
- 5) Dedicar áreas a:
 - a) la producción de árboles de rápido crecimiento para usos diversos. Incluyendo la oferta de carbón que utiliza el 80% de la población y madera para los artesanos de la zona (base de una de sus principales actividades productivas).
 - b) a la protección de áreas degradadas, que han aumentado considerablemente.
 - c) y a plantaciones agroforestales que, además de árboles, producirán alimentos para subsistencia⁷.
- 6) El uso forestal debe ser el de mayor magnitud, dadas las características de la zona, fuera del área del Parque Nacional (que debe manejarse, incrementarse y protegerse).
- 7) Aumentar la explotación del área, hasta el máximo posible, de acuerdo al plan de manejo de la cuenca. Pero sin incentivar explotaciones de importancia que puedan atraer población rural, prefiriendo esta zona a otras perfectamente aprovechables que se encuentran prácticamente inexplotadas. (KDF93, 64-68)

Cobertura forestal y disponibilidad de agua. *La distribución de las lluvias es irregular, no siendo suficientes para las necesidades de la zona a lo largo del año. Por otra parte se necesita aumentar la disponibilidad de agua en la cuenca para cubrir los usos consuntivos previstos al cambiar el uso de los suelos, y su efecto en el porcentaje de escurrimiento (cf. Estudio Hidrológico).*

Por ello se recomendó una mayor cobertura forestal, en mayor superficie que las destinadas al uso agrícola y pastoreo, para lograr un mayor escurrimiento. Y esto porque los bosques, si bien disminuyen algo el escurrimiento superficial aumentan el escurrimiento sub-superficial regulando así la descarga de agua de la cuenca. (KDF93, s/78)

Y se recomendaron **sistemas de áreas de protección** en sectores de la *cuenca alta y media*, principalmente en los más inestables y de alta fragilidad ecológica, para que puedan cumplir en esas zonas con las funciones de protección deseada. Su objetivo es *la protección de los abastecimientos de agua potable*, y la implementación de *parques comunales de uso múltiple*. Y serían reserva forestal, y refugios de vida silvestre, en *ocho áreas de protección de agua* en los sectores medio y bajo de las microcuencas críticas, en las áreas nacionales de recreo para la protección ambiental de los *sectores tributarios al embalse del Bao*, y en los remanentes de “bosque seco” en el área de microcuencas críticas⁸.

⁷ Los principales programas de desarrollo forestal recomendados son: desarrollo de plantaciones agroforestales, silvopastoriles, dendotérmicas y productivas. Sistema de áreas de protección, y manejo del parque nacional. Ver BAO93-0, pp. 79-82.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

CUADRO 7.4
LOCALIZACIÓN DE ÁREAS DE PROTECCIÓN HIDROLÓGICA (PARQUES COMUNES)

Categoría	Nombre	Localización	Superficie (ha)
Áreas de protección hidrológica	Alto: Fba	Arroyo Prieto	10
		Juncalito	15
		Loma Prieta	10
	Medio: Cba	Los Montones Arriba	8
		Corocito	20
		Damajagua Adentro	10
	Bajo	Jánico	12
		Málaga	5
		Juncalito	10
Total			100

CUADRO 7.5
LOCALIZACIÓN DE ÁREAS NACIONALES DE RECREO

Categoría	Sector	Localización	Superficie
Áreas de recreo	"Pinalito"	Sector tributario al embalse (Arroyo Gata)	5 ha
Vía panorámica	Las Mesetas	Sector Tavera- Bao	10 km

Ver Mapa No. 11 "Reordenación del Espacio", para ubicación de los proyectos indicados.

CUADRO 7.6
MICRO-CUENCAS PRIORITARIAS

MICROCUENCA	CAPACIDAD DE USO			POBLACIÓN	CRITERIO	RESÚMEN
	VI	VII	VIII			
Fba					14	16
21 Bi		497.30	2,885.70	4	10	2
27 Bgu		1,000.10	2,496.80	1		6
28 AJ	199.70	599.00	2,396.20	3	9	9
29 Ab	101.10	1,210.80	1,413.70	5	11	7
30 Aeu	969.90	777.10	969.90	2	8	8
31 Cba		1,012.90	1,923.10	4	1	1
33 Aja	1,460.80	388.70		2	4	3
34 Bba	206.10	1,029.60	308.20	3	2	5
35 Aba	1,393.70			varios	6	4

8 Las áreas de protección abarcan áreas protegidas y especiales que incluyen 634ha de bosque de protección, 150ha como refugio de vida silvestre, 100ha de protección hidrológica, 5ha de áreas de recreo y 10km de vías panorámicas. E incluyen áreas para proteger la flora y fauna en peligro de extinción, y para aprovechar el potencial turístico y recreativo existente en la zona. (s/110)

MICROCUENCAS

Para el ordenamiento, uso y zonificación de los espacios, la cuenca ha sido dividida en **35 microcuencas** con características y agro-sistemas bien definidos.

Diez están en el parque nacional, ocho comparten sectores del parque y de uso público y las 17 restantes están totalmente fuera del parque. Y se han identificado *siete grupos de manejo que cubren 56,000ha* en las 28 micro-cuencas que no incluyen las dedicadas exclusivamente al parque nacional.

Once micro-cuencas están localizadas en áreas críticas unas 30,000ha (35% de la cuenca,), dado el grado de deterioro que presentan sus recursos de suelo, agua y bosque, con los consecuentes procesos erosivos.

Procesos que *afectan* las tierras agrícolas y ganaderas en su potencial agropecuario. Así como al rendimiento del complejo hidroeléctrico Bao-Tavera, y al de los acueductos servidos por ríos y arroyos portadores de los sedimentos que ellas originan⁹.

Los **criterios de priorización y jerarquización de las micro-cuencas** fueron los siguientes

- 1) Capacidad de uso del suelo.
- 2) Clima, morfometría y relieve.
- 3) Conflictos de uso.
- 4) Degradación potencial frente a la erosión y producción de sedimentos.
- 5) Población presente, presión de uso sobre los recursos naturales.

Se identificaron:

- *Las siete micro-cuencas con mayor potencial erosivo*¹⁰ (ver Cuadro 4.3: “Resumen de Jerarquización”).
- *Las áreas con uso adecuado* localizadas especialmente en los sectores medio y bajo.
- *Y las micro-cuencas prioritarias* ubicadas en el sector bajo, donde hay mayor presión poblacional y conflictos de uso del suelo.
- *Conflictos de uso* en las cuencas de los ríos *Guanajuma, Jagua y Baiguaque*. Principalmente en los sectores bajo y medio, con cultivos y pastoreo en tierras forestales y de protección, contrastando el uso actual de cada microcuenca con su uso potencial.

SITUACIÓN AGRÍCOLA

La agricultura no tiene mayor importancia, dada la poca superficie que ocupa (un *17% de cuenca*) y la limitada posibilidad de expandirse, *dadas las condiciones topográficas y de suelos de la zona*. El desarrollo agrícola no tiene una potencialidad apreciable y sus productos principales son el café, los frutales y otros cultivos anuales de autosustento¹¹.

La agricultura **se reduce casi exclusivamente al café**, que utiliza un *91% de los suelos de la zona agrícola* de la cuenca (y un 15% de la misma). Y es la actividad económica más importante de la zona.

9 Estas *áreas críticas* deberán recibir tratamiento a nivel de finca a través de los diferentes proyectos, como conservación de suelos y aguas, plantaciones forestales, manejo de pasturas y también las intervenciones a nivel de cuenca en las construcciones para control de sedimentos y otros.

10 Se identificaron las siete microcuencas con mayor potencial erosivo. De acuerdo a parámetros de clima, morfometría, cobertura vegetal, erosión. Y de acuerdo al “Mapa Morfométrico Cuenca río Bao” (1985), y al Estudio de Degradación Específica (17,67).

11 **Productos agrícolas principales.** Los cultivos intensivos de ciclo corto (910 hs) son, en especial, yuca, habichuelas, maíz, tabaco, guandul, y otros. Y ocupan un 6% de la zona (y un 1% de la cuenca).

En otras pequeñas áreas se dan cultivos de cítricos, mango y macadamia, que suponen un 3% de la zona (y un 0.5% de la cuenca). Y habría que añadir los cultivos de supervivencias y de los huertos de las viviendas rurales.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

Sin embargo, hay un *sobreuso en la mayor parte de los suelos y un mal manejo de los mismos*, con la *baja producción y bajos rendimientos* consiguientes, otros están en suelos adecuados. Situación que exige un ordenamiento, rehabilitando y fomentando la producción de café únicamente en las áreas con terrenos aptos para el mismo.

La agricultura de la cuenca **causa pérdida de suelo agrícola**, hasta unas 400 ton/año. La mayor parte de los terrenos agrícolas se encuentran con sobreuso, en pendientes pronunciadas con bajos rendimientos, en suelos que no tienen capacidad para agricultura de ciclo corto, y *sin un manejo adecuado de los suelos*. Lo que, por otra parte, se traduce en baja producción y se convierte en fuente de deforestación, erosión y sedimentación.

Pérdida de suelos agrícolas que *parece deberse al café principalmente*, dada la gran extensión que ocupa éste en la zona. Y la debida a los otros cultivos es de poca importancia dada la poca superficie de los mismos.

Las prácticas actuales de agricultura migratoria, deforestación y sobrepastoreo de tierras pobres sobre pendientes pronunciadas resultan en altas tasas de transporte de sedimentos y perturbaciones del caudal de los ríos. La ocurrencia de la severa degradación y el agotamiento de los suelos en las pequeñas parcelas familiares han minado severamente la base de recursos para la producción de subsistencia. (CID-J&M, 5)

Se necesita reordenar el uso de los suelos agrícolas de la zona y eliminar la producción agrícola de los suelos sin capacidad para ella, y sí con otra vocación. Y *seleccionar las áreas con capacidad para cultivos alimenticios*, principalmente en suelos con posibilidad de riego y que están subutilizados, unas 3,300ha (3.3%), mejorando su producción. Y después mejorar la producción de los *cultivos de subsistencia*, pero en suelos con vocación agrícola.

Un cambio de uso de la tierra extrapolado ha sido estimado para un total de unas 30,000ha, de acuerdo al Cuadro 7.7.

CUADRO 7.7
CAMBIOS EN EL USO DE LA TIERRA. PERÍODO 1985 A 1992

Uso de la tierra	Uso en 1985 (ha)	Uso en 1992 (ha)	Cambios (ha)	%
Bosque muy claro	647.5	571	- 76.5	- 13%
Bosque claro	12,771.3	13,545	+ 773.7	+ 6%
Bosque denso	3,820.0	4,968	+ 1,148.0	+ 30%
Bosque muy denso	17,716.0	14,028	- 3,688.0	- 21%
Otros usos	34,954.8	33,112	- 1,842.8	- 6%

Fuente: Estudio Uso de la Tierra (SEA/1985) (78); Estudio de Factibilidad Cuenca Río Bao Kokusai/ Desagro 1992.

La situación actual de la agricultura de la zona se resume en el Cuadro 7.8.

CUADRO 7.8
SITUACIÓN AGRÍCOLA DE LA ZONA DISTRIBUCIÓN DE LOS CULTIVOS PRINCIPALES
(Área total agrícola: 14,700ha 17% del área total de la cuenca)

Cultivo	Área (ha)	Área Agrícola (%)	Observaciones
Café	23,300	91%	Las variedades principales son arábica y caturra, de cultivos de sol y sombra
Frutales	470	3%	Naranja y Macadamia
Cultivos/Anuales de Subsistencia	910	6%	Yuca, habichuela, maíz, tabaco y guandul

Los frutales suponen unas 466 ha. Sin embargo, en la zona existen *paradójicamente*, unas 9,000 ha con vocación frutícola, que se encuentran subutilizadas con otros cultivos, o que está improductivas en la actualidad.

Estos terrenos aptos para frutales, de usarse para ello, *ayudarían a mejorar sustancialmente el nivel de vida* de los habitantes ya que generarían altos ingresos. Y *ayudarían al control de la erosión y la sedimentación* al amentar la cobertura de cultivo permanente.

Las recomendaciones de reordenación del espacio y manejo del suelo agrícola se restringieron a la superficie actual.

La superficie actual podrá incrementarse sólo *levemente*, en interés de mejorar la producción del espacio actual y el nivel de vida de sus habitantes. No debiendo fomentarse ni agricultura ni desarrollos agropecuarios incontrolados en la zona. (KDf93,64-68)

Se recomendaron *programas de aumento de la productividad agrícola para ciertas áreas* de la zona agrícola de la cuenca. Áreas con alto potencial de producción intensificando su uso, en la actualidad subutilizado, con posible regadío mediante pequeñas presas o bombeo. Además de usar prácticas de conservación de suelos y aguas, y mejor tecnología. Este programa es muy importante, dada la necesidad de disminuir cultivos agrícolas anuales de áreas inadecuadas¹².

El *mejoramiento de la agricultura de subsistencia* es difícil ya que, en la mayoría de los casos, se da en suelos sobre-utilizados. Grandes áreas de cultivos anuales ocupan terrenos que no tienen aptitud para los mismos, y su sistema de cultivo potencia el deterioro del suelo y la erosión. Problemas que sólo se pueden superar si se usan prácticas adecuadas de conservación de suelos y una mejor tecnología, lo que al mismo tiempo mejoraría la producción.

PASTOS Y GANADERÍA

Introducción

Los **pastos son una de las especies vegetales que le ofrece mayor cobertura al suelo**. Lo sujetan con sus raíces y le aportan grandes cantidades de material vegetativo, por su estructura botánica y la naturaleza de su crecimiento.

Facilitan una mejor reserva de humedad y aeración. Mejoran la estructura del suelo y reducen la erosión y la degradación progresiva del suelo.

La zona de pastos de la cuenca del río Bao está a una altitud *entre los 200 a 1,500m/snm*.

Su *topografía es muy irregular*, con pendientes que oscilan entre 12 a 60%, predominando las áreas pronunciada y moderadamente pronunciada (25-50%) en un 84%.

12-25%	(moderada)	7% del área
25-35%	(moderadamente pronunciada)	41% del área
35-50%	(Pronunciada)	43% del área
50-60%	(muy pronunciada)	9% del área

La temperatura promedio anual está entre 20-24°C, con variaciones en función de la altura y las estaciones del año. Es más baja de diciembre a febrero, sobre todo en las partes más altas.

Y la precipitación media anual está entre 1,000 a 1,800mm, con mayor concentración durante los meses de abril/mayo y septiembre/octubre.

12 Los **programas de aumento de la productividad agropecuaria**, se concentran en: aumento de la productividad y mejoramiento de la agricultura de subsistencia, incremento y rehabilitación de la producción cafetalera, incremento de la producción pecuaria, y fomento y mejoramiento de los frutales, ver BAO93-0, pp. 79-82.

CUADRO 7.9
CONDICIONES CLIMÁTICAS EXISTENTES EN LA CUENCA DEL RÍO BAO

Variable	Rango Variación
Temperatura	20-24°C
Altitud	200-1,500m
Precipitación*	1,000-1,800mm*

* Concentrada en los períodos abril-mayo y septiembre-octubre (KDAñl,73) Fuente: Plan Sierra, 1984

Muchos pastizales y poca tierra apta en la cuenca del río Bao. Según los estudios de fotointerpretación del satélite Landsat y las fotografías aéreas, los pastos *representan un 50% de la cobertura vegetal* de la cuenca de Bao¹³.

Los pastos son *la segunda zona en importancia en la cuenca* (12,300 ha), ocupando un 40% de la misma (y un 14% de la cuenca), dada la poca profundidad de los suelos y el déficit hídrico de la zona. (KDF93).

Y, sin embargo, *los suelos aptos para ganadería son sólo 3,250 ha, un 26% de los utilizados actualmente* en la cuenca. Por lo que el restante 74% del área con pastos deberá dedicarse a usos más compatibles con su naturaleza.

VS "Sólo hay 2,358 ha aptas para la explotación de sistemas silvopastoriles naturales o mejorados (10.25%), con un uso adecuado y con técnicas de manejo para evitar la erosión y la sedimentación. Y el resto (73%) debe dedicarse a otros usos, principalmente forestal". (KFF93, 71)

Clases de pastos. Son *pastos naturales, solos o mezclados con bosques y matorrales*. Los pastos naturales representan el 80% de las especies de uso forrajero, siendo pastos de bajo rendimiento para la crianza de animales, pero que constituyen un ingreso importante para los habitantes de la zona. Y el restante 20% lo componen el pasto jaraguá, el guinea, la pangola, la estrella africana, y especies leguminosas, y bosques ralos deforestados.

Los pastos + bosques (23,000 ha) suponen un 27% del área total de la cuenca. Se encuentra en pasturas y bosques degradados, en malas condiciones para una explotación rentable. (KFF93, 71)

Ganadería y pastos. *La ganadería es la actividad más importante* de la cuenca. La ganadería ocupa un 45% del área de la cuenca.

Pero *la relación animal-tierra es muy baja* considerando que el promedio nacional es de 0.7 ha/animal-año (1.5 animal por ha). Y en pasto mejorado la capacidad de carga es de dos animales /ha-año en condiciones de pastoreo.

La población ganadera no representa una gran cantidad en la cuenca del Bao. Predomina el ganado bovino de carne (68% del ganado) en relación con el ganado de leche y de las otras especies. No hay datos posteriores a los de 1971 y parece que la tendencia actual es estacionaria e incluso decreciente.

La mayor concentración ganadera está en las sub-cuencas de los ríos Jánico y Jagua. Y sobre todo en la micro-cuenca de Los Montones, Jánico, que es la micro-cuenca con mayor concentración ganadera y mayor degradación de toda la cuenca de Bao. Mientras que en la sub-cuenca del río Guanajuma, y en la de Baiguaque la crianza de ganado no es predominante.

¹³ El pasto representa un 50% de la cobertura vegetal. Los bosques coníferos un 30% y los sistemas silvopastoriles (pasto y bosque conífero) representan un 6%. Y el 14% restante corresponde a cultivos perenne (café) y anuales.

CUADRO 7.10
CANTIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE GANADO EN LA CUENCA DEL BAO

Especie Animal	Cantidad	%
Bovino de carne	69,879	68
Bovino de leche	4,846	5
Porcino	14,063	13
Equino	4,818	5
Burro	5,860	6
Mulo	2,156	2

Fuente: VI Censo Nacional Agropecuario, 1971 (22).

El 10% de la población de la cuenca es ganadero, porcentaje que corresponde a los agricultores con más tierra que controlan el 66/70 % de la tierra¹⁴. Mientras que el 70% de los agricultores, que manejan unas dos hectáreas y ocupan un 30% de la tierra agrícola, tienen un bajo nivel económico que les impide ejercer actividades ganaderas¹⁵.

El sector ganadero es un factor muy importante, a tomar en cuenta, al implementar una estrategia para el manejo de los recursos naturales en la cuenca del Bao y la integración de su ecosistema. Sin la participación de los ganaderos, terratenientes, no es posible practicar un manejo y conservación adecuada de la cuenca. (KDAI, 66-70, 74 y 186).

Sobrepastoreo, erosión y bajo rendimiento del ganado

El sobrepastoreo es una práctica muy frecuente en gran parte de los pastos, acelerando la degradación de los suelos, sobre todo en los períodos secos, en que los pastizales son menos resistentes por el balance hídrico negativo.

El sobrepastoreo, que es similar a ordeñar la vaca hasta que muere, *reduce la capacidad de recuperación del pasto y de soportar carga animal (alimentar ganado en el futuro*. Lo cual está determinado por la producción de la biomasa vegetal, que en la cuenca oscila entre 2-3ha por unidad animal por/año (animales de 300kg de peso vivo o su equivalente). Círculo vicioso que urge el reordenamiento del espacio de la cuenca.

La causa principal del sobrepastoreo es las *pocas alternativas de que disponen los ganaderos para alimentar los animales en los períodos críticos* de producción de forraje, haciendo un uso continuo de la pastura y reduciendo la capacidad de recuperación del pasto, cuando las condiciones climáticas le son favorables. (KDAI, 71)

El reordenamiento de la zona de pastos, y su manejo, es clave para la conservación y manejo de la cuenca del río Bao¹⁶. Un 45/50% de los suelos de la cuenca están *dedicados a pastos. Pero con sobrepastoreo, sin vocación para ese uso en un 75% de los suelos dedicados a pastos, y con bajo rendimientos del ganado.*

14 *Los grandes ganaderos* poseen casi la mitad de las tierras (46%) dedicándolas a la crianza de ganado vacuno para el mercado. Tienen fincas de más de 6 hs. atendidas por encargados, y la mayoría a de los ganaderos residen en las cabeceras de los municipios cercanos como Jánico, San José de las Matas, Santiago, etc.

Los pequeños productores poseen sólo dos vacas como promedio para el consumo casero de leche, en la mayoría de los casos. No tienen ganado vacuno para la reproducción. Los cerdos padrotes, chivos y ovejos escasos en sus terrenos. Y apenas crían para la venta. (KDF93)

15 *Un 70% de los agricultores maneja unas 2ha.* Y el 50% de la tierra la componen fincas de más de 200 tareas, que se considera como cantidad mínima económicamente rentable en el área de la sierra.

16 *La zona de pastos clave para la conservación y manejo de la cuenca.* La cuenca aparece protegida naturalmente por una extensa cubierta de pastos naturales, si bien el análisis climatológico indica el balance hídrico negativo de la zona. Lo que hace imperioso, y de primera prioridad, el estudio de la cuenca para reorganizar la ocupación de su espacio y evitar el deterioro de su cobertura natural, sobre todo en el período seco.

Por lo que se necesita un *reordenamiento del espacio de pastos según sus características, así como prácticas de conservación de suelos y buen manejo del ganado*, para frenar la degradación de éstas áreas, obtener mejores resultados productivos y una reducción considerable de la erosión.

El manejo de los pastos es de gran importancia en el proceso general de la cuenca, por su condición protectora de los suelos y alimentadora de la ganadería. Por ello, el uso incontrolado de pastizales protectores debe ser sometido a un manejo adecuado. Ni agricultura ni pastos incontrolados deben ser permitidos en el área. (KDA^{nl}, 43)

ECONOMÍA DE LA CUENCA DE BAO

El **bajo desarrollo económico de la zona**, consecuencia de la *baja producción agrícola*, repercute en una escasa participación en el mercado y las pocas actividades económicas de la población campesina.

Según una encuesta realizada para el plan de manejo de Bao, un 66% *de la población no realizaba ninguna actividad económica*. La principal actividad era la agricultura (65%) incluyendo los propietarios, trabajadores y jornaleros dedicados a esta actividad. Y un 58% *de la población activa recibía menos del salario mínimo* establecido por ley, RDS750.00 por mes.

Son **propietarios agropecuarios un 73% de los agricultores**. Pero de ese porcentaje el 19% tiene predios menores de 0.5 ha y los de un 79% oscilan 0.5 y 5.0 ha. Son pequeños productores minifundistas de los que un 97% se dedica a la agricultura como actividad principal careciendo de contrato o título actualizado y no teniendo ganadería.

Los **cultivos principales** son yuca y batata (81% de los predios), habichuela (67%), maíz (56%), tabaco (24%) y guandul (14%). Es muy baja la *producción hortícola*, realizada en pequeños predios y para autoconsumo. Los *cultivos perennes principales* son el café, seguido por el guineo, guayaba, plátano, aguacate y otros, en cantidades muy pequeñas.

Usan crédito sólo un 7%, proviniendo del Banco Agrícola y de los intermediarios que se trasladan desde los municipios cabeceras y de la capital, generando grandes beneficios al cobrar con productos adquiridos a muy bajos precios.

Comercialización. *Venden sus productos en el predio o conuco un 41%* de los productores y el resto en la zona o fuera de ésta. El 34% de la cosecha se vende a los intermediarios, un 16% en los mercados locales y el resto a los camiones, agroindustrias y otros no especificados.

Varía. El 80% se dedica a agricultura y son dueños de sus terrenos. Un 3% realiza alguna actividad comercial secundaria. Y un 57% conoce las prácticas de conservación de suelos y algunos los aplican, siendo el método más usado en la zona el sembrar contrario a la pendiente.

Según los resultados de la encuesta llegó al tercer grado de primaria sólo un 70%. Y emigró a los Estados Unidos un 46%, en su mayoría mujeres.

Los condicionantes principales de la actividad económica de la cuenca del Bao son su *topografía*, constituida mayormente por terrenos montañosos y valles ultramontanos, el *escaso desarrollo tecnológico agropecuario*, los *limitados recursos* de sus habitantes y el trabajar en *terrenos que no son propios* por buena parte de los agricultores de la zona.

CONFLICTOS DE USO Y REORDENAMIENTO DEL USO DE LA TIERRA

Uso actual de los suelos

La cuenca en la actualidad presenta tres zonas principales de uso (cfr Mapa No. 10), que pueden resumirse en los siguientes porcentajes de la cuenca:

- 40% ocupada por el Parque Nacional JAB
- 40% de su superficie ocupada por pastizales naturales, pastizales de cultivo, bosque ralo desforestado, vivienda rural y vivienda de ocupación temporal de vacaciones.
- 20% de su superficie ocupada en una agricultura imponente por las condiciones de clima y por la disponibilidad de terrenos aptos para el cultivo, casi fundamentalmente basado en el café.

VS

40.0%	ocupada por el Parque Nacional JAB
40.8%	bajo cobertura mixta de bosques y pastos naturales. O bajo manejo silvopastoril
12.6%	bajo cobertura boscosa
3.6%	cultivos anuales
3.0%	bosques y cultivos perennes (café, cítricos y guayabas silvestres) (KDAnl, 115)
100.0%	

Uso potencial

A la luz de los datos disponibles, aunque de forma preliminar y general, se puede dividir a la cuenca del río Bao en cinco *zonas de uso potencial*:

- 1) 40% (34,500 ha) Parque Nacional JAB.
- 2) 9% (7,800 ha) Bosque de protección, adjunto al parque nacional.
- 3) 18% (15,552 ha) Bosque mixto. Dividido en manejo silvopastoril (12%) y agroforestal (6%).
- 4) 12% (10,368 ha) Bosque productivo, maderable y para la producción de carbón y leña.
- 5) 9% (7,800 ha) Producción agrícola con cultivos anuales, y
10% (10,368 ha) Producción pecuaria con pastos naturales y mejorados.

(KDAnl, 116. Promete actualización con II Fase, Estudio de Suelos)

Conflictos de uso

El **desorden del “uso de la tierra” en la cuenca** del río Bao, uso de suelos no adecuados y en menor grado subutilización de los mismos y de su manejo, *es un hecho histórico conocido*.

Y su reordenamiento es un *factor clave* para el manejo de los recursos naturales de la cuenca de Bao. Reordenamiento del uso del suelo conforme a su capacidad, productividad, escurrimiento y erosión.

Excluyendo el área del parque nacional, existen **dos tipos de conflictos de uso** en la zona:

Presenta problemas de *conflicto por sobreuso* un 80% de los terrenos de la cuenca, fuera del parque nacional. En estos terrenos el sobreuso, el uso más allá de su capacidad, está dado por pastos naturales en terrenos de vocación forestal y cultivos agrícolas en algunos de estos terrenos (un 10%).

Tienen problemas de *conflicto por sub-uso* un 10% de los terrenos fuera del parque nacional. Es decir terrenos ocupados por debajo de su capacidad, como suelos de vocación agrícola que se encuentran usados por bosques o pastos.

Los terrenos *usados de acuerdo a su uso potencial* son solo un 10% de del área de la cuenca, fuera del parque nacional.

Han sido detectados conflictos de uso **desde dos puntos de vista**, en el espacio de la cuenca del Bao.

El primero se refiere al *uso total de la cuenca*. Uso que se desarrolló a lo largo de la historia en base a las condiciones naturales y al desarrollo del país y de la zona, al ritmo del mundo preindustrial y pre-urbano. En este período la cuenca, zona predominantemente montañosa, estuvo cubierta por el *bosque natural*, sin ser afectada por un incremento de la erosión natural debida a la acción humana, por el mal manejo de los recursos naturales.

El uso de la cuenca se incrementó con el desarrollo urbano y de los poblados rurales, siendo Jánico el más importante de los estos últimos. Uso que fue reducido, en un principio, y no que implicó un marcado conflicto de uso degradando la naturaleza por la acción humana.

El análisis comparado del “uso potencial y el uso actual” demuestra que *existen espacios y sistemas productivos que se encuentran en conflicto de uso* en la cuenca, impactando negativamente la base de los recursos.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

Las áreas con cultivos agrícolas son inferiores a las de uso potencial. Parte se localizan en áreas no aptas para esos cultivos, no usando las áreas adecuadas Y algunas presentan un estado de degradación tal que necesitan pasar a bosque de protección.

Hay áreas cubiertas con pastos y pastos + bosques naturales degradadas por el sobrepastoreo intenso. Áreas cuyo destino debería ser bosques dendroenergéticos, agroforestal, frutales, uso forestal y los degradados bosques de protección.

Sobre estas áreas es donde debe producirse el mayor cambio de uso.

DIAGNÓSTICOS DEL USO DE LA TIERRA EN LA PARTE MEDIA Y BAJA DE LA CUENCA DEL BAO

1. De la comparación de las fotografías aéreas del proyecto Mareña (1984-85) con los resultados de un estudio semi-detallado de suelos de Conagrodóm, se desprende que:

- un 74.4% del área estudiada está con *sobre-uso*
- 17.9% están bajo *uso correcto* y
- 7.7% con *sub-uso* según capacidad

CUADRO 7.11
CONFLICTO DE USO DE LA TIERRA

Unidades de uso potencial	Capacidad de uso	Uso actual	Conflicto Uso aparente	Ha	Área %
U-1	Agricultura	Pastos	Sub-uso		
U-2	Cítricos	Pastos / latifoliadas Matorrales	Sub-uso	2,454	7.75
U-3	Pastos forestal	Latifoliadas Matorrales Pastos	Correcto Correcto Correcto	5,718	18.05
U-4	Forestal	Pastos / agricultura Pastos Café Matorrales Latifoliadas	Sub-uso Sub-uso Correcto Correcto Correcto	10,000 863	31.57 2.73
U-5	Protección forestal y vida silvestre	Pastos Café (bajo sombra) Matorrales Bosques mixtos Bosques latifoliados Bosques pinos	Correcto Correcto Correcto Correcto Correcto	12,637	39.90

Y en los últimos años aumentó el sobreuso en áreas de la parte media y baja de la cuenca, en donde se producen importantes procesos de erosión, cerca del embalse, como consta por la fotointerpretación y las visitas de campo.

2. Y del análisis del uso actual de la tierra hecho por Direna, sobre la parte media y baja de la cuenca (31,672 ha), en base a las fotografías aéreas del proyecto Mareña (1984-85) y el estudio mencionado de Conagrodóm se deduce que:

- un 60.7% del área tiene el *uso correcto*
- 31.5% están con *sobre-uso*
- 7.8% está bajo *sub-uso* según capacidad

De acuerdo al estudio DIRENA, el 60.7% de la superficie de la cuenca tiene un uso correcto. *Lo que evidentemente es equivocado y demuestra la fragilidad de los datos básicos disponibles. (KDA, 34-35)*

Importancia de los conflictos de uso. En la zona de bosque (40% de la cuenca) no serán de importancia si se cumplen las siguientes condiciones: manteniendo y protegiendo el bosque, reforestando parte de la deforestación producida a través de los años, controlando el desarrollo de comunidades rurales, así como los desarrollos agrícolas y agropecuarios, y restringiendo el desarrollo de proyectos energéticos que atenten contra el equilibrio de la naturaleza en esta zona.

En el resto la cuenca (60%) la previsión es muy diferente. Un estudio reciente revela que un 50% del área agrícola y ganadera presenta conflictos de uso¹⁷.

En todo caso, en los terrenos concretos de uso agrícola y explotación de pastizales protectores, se necesita algún tipo de manejo que ayude a mejorar su uso, que siempre debe respetar y facilitar el control de la erosión, causa de la degradación de la cuenca.

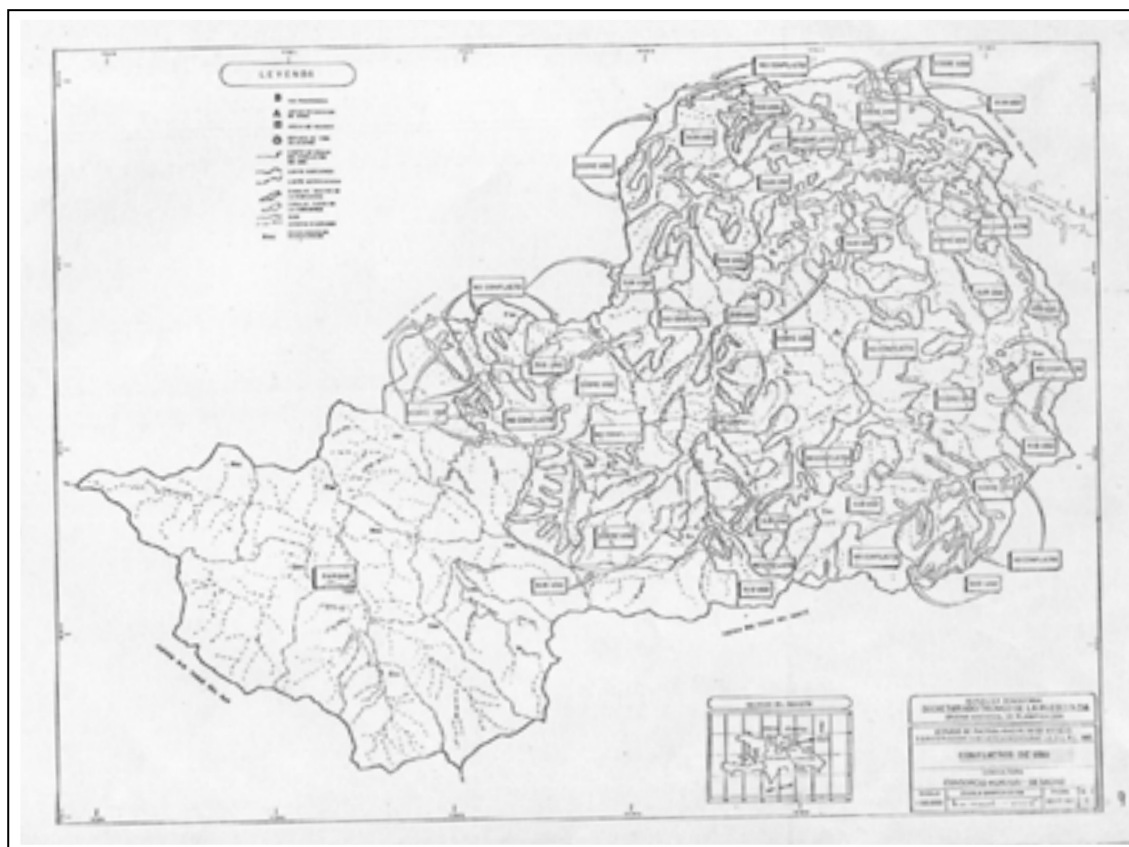


Fig. 7.1 (Mapa No. 9)
CONFLICTOS DE USO DE LA TIERRA

Reordenación del uso de la tierra y su rentabilidad

Por estas razones, se hace **imprescindible promover cambios de uso** para *compatibilizar el uso actual con el futuro y las posibilidades* potenciales. Ver la comparación entre el uso actual de la tierra y el potencial, un análisis de la situación y un resumen de las recomendaciones (Cuadro 5.1). Ver también el Cap. 4, Disponibilidad y demanda de los recursos hídricos en la cuenca de Bao.

¹⁷ **Conflictos de uso en el área agrícola y pecuaria.** El Mapa No. 9 (Fig. 7.1) presenta un detallado análisis de los conflictos detectables en el uso agrícola y pecuario de la zona. Estos aparecen resumidos en: zonas sin conflicto (aproximadamente un 50%), zonas que están en sobreuso, referidas a zonas de sobrecarga animal y zonas de sub-uso, donde razones de topografía han restringido la ocupación natural de la acción humana.

CUADRO 7.12
REORDENACIÓN RECOMENDADA USO DE LA TIERRA

USO DE LA TIERRA				USO POTENCIAL			METAS HA	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN	RESULTADO FINAL
GRUPO USO	USO	SUBCLASE	AREA HA	GRUPO MANEJO	USO RECOMENDADO	AREA HA			
1	Agrícola	Cultivo intensivo y extensivo	910	7	Agrícola	3,333	500	500ha en práctica de conservación. 410ha pasan a bosque de protección	410ha pasan protección se tiene solamente 500ha en cultivos intensivos con práctica de conservación total 500ha
2	Pastos	Pasto natural y cultivado	12,377	4	Pastos	3,250	3,250	Se tiene 3,250ha de pasto mejorados con tratamiento	3,250ha. con prácticas, 8,703 ha manejo simple (424) ha pasan a protección 11,953ha
3	Forestal	Latifoliada y pino	1,750	1	Forestal producción maderera	17,675	841	1,750 manejo 841 plantación total 2,591ha	841ha vienen de pastos + bosque totalizando 2,591ha
			0	5	Finca energética	3,450	450	450ha con siembra de pasto+bosques	450ha de bosques energéticos
					Agroforestal		1,602	1,602ha proveniente de pasto+bosque	1,602ha agroforestal
			30,500	8	Bosque de Protección	30,500	639	410ha de cultivos 234ha pastos = 834ha y 634	Tenemos 30,500ha parques + 834ha protección
2+3	Pasto + bosques	Bosques permanente	23,393	2	Pasto + bosques	2,835	2,835	2,835ha mejoradas de plantación silvopastoril 1,835 pasto+bosque 1,000 de pasto	841ha pasan a bosque de producción, 2,835ha mejorada, 17,615 manejo simple, 500ha pasan a frutales 20,949ha pastos + bosques total
4	Café	Arábica y Caturra	13,333	3	Café	15,409	2,000	2,000 ha mejorada con prácticas de conservación	2,000ha renovadas 11,333 manejo simple de rehabilitación para un total de 13,333ha
5	Frutales	Cítricos y macadamia	466	6	Frutales	9,245	500	500ha cítricos con prácticas de conservación	Se aumentarán 500ha para un total de 966ha
6	Otros Usos	Uso público Uso privado	1,698	X	Otros	1,698			

Fuente: Consorcio KOKUSAI-DESAGRO.

Reordenamiento que se encuentra con una situación base que le da **un alto potencial para expandir las áreas boscosas dentro de la cuenca**. Aumento de los recursos forestales que, de darse, *mejorará las condiciones de los suelos y desacelerar el proceso erosivo de la región*.

Así mismo, hay un **limitado potencial para expandir la frontera agrícola** de la zona. Por lo que el mayor esfuerzo debe hacerse en cuanto a *buscar las especies más rentables y mejorar los modos productivos* a fin de incrementar la productividad y la rentabilidad de estas actividades productivas.

De implementarse el reordenamiento del uso de los suelos en la cuenca de Bao se estima que **el rendimiento de los principales cultivos se incrementará significativamente**. Y esto como resultado de la utilización de las *prácticas de conservación, mejoramiento en la utilización de insumos y técnicas de cultivos* y, en parte, porque *los rendimientos actuales son muy bajos*, en prácticamente todos los cultivos.

CUADRO 7.13
RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS EN KG/HA

Cultivos	Actuales Kg/ha	Con Proyecto Kg/ha	Diferencia Kg/ha (%)	
Habichuela	1,400 kg/ha	2,200 kg/ha	+ 800	+ 57%
Guandul	2,180 kg/ha	4,300 kg/ha	+ 2,120	+ 97%
Yuca	8,700 kg/ha	10,400 kg/ha	+ 1,700	+19.5%
Maíz	1,200 kg/ha	2,500 kg/ha	+ 1,300	+ 108%
Tabaco	2,000 kg/ha	3,100 kg/ha	+ 1,100	+ 55%
Café	350 kg/ha	2,180 kg/	+ 1,830	+ 520%
Frutales	60,000/u/ha	110.000/u/ha	+50.000u/ha	+ 83.3%

Fuente: Consorcio KOKUSAI-DESAGRO

RESUMEN DE CAMBIOS DE USO RECOMENDADOS

- 1) 410 ha de cultivo pasan a bosques de protección
- 2) 424 ha de pastos pasan a bosque de protección
- 3) 1,000 ha de pastos pasan a silvopastoril
- 4) 841 ha de pastos+bosques pasan a bosques de producción
- 5) 450 ha de pastos+bosques pasan a bosque energético
- 6) 500 ha de pastos+bosques pasan a frutales
- 7) 1,602 ha de pastos+bosques pasan agroforestal

NOTAS: 1) Para un análisis y resultados del uso de las tierras ver BA093-F.2, pp. 107-109.
2) Para una descripción de las acciones ver BA093-F-2, pp. 109-11.

TENENCIA DE LA TIERRA

Situación actual. Según un estudio del Catastro Rural¹⁸, la *superficie de las fincas* oscila entre menos de 10ha y más de 100ha. Y los predios menores corresponden en su mayoría a agricultura de subsistencia.

¹⁸ El *Estudio sobre el Catastro Rural* se hizo sobre 56.000ha, en las que se identificaron unos 5,591 predios en la zona estudiada.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

La forma de adquisición y propiedad de la tierra es muy irregular en la cuenca de Bao, ya que la mayoría no disponen de títulos que avalen su propiedad. (Cuadro 7.15: Predios por modos de adquisición). Y parece que el patrón de la tenencia de la tierra permanecerá estable en el futuro en la cuenca.

CUADRO 7.14
TAMAÑO DE LOS PREDIOS

RANGO/ha	ÁREA	%	PREDIOS	PREDIOS (%)	ÁREA MEDIA
Menos de 5	5,171.65	9.26	2,871	57.89	1.80
5.1 a 10.0	6,185.18	11.07	870	17.54	7.11
10.1 a 30.0	15,749.37	28.19	936	18.57	16.83
30.1 a 75.0	10,583.53	18.94	239	4.82	44.28
75.1 a 100.0	1,261.22	2.26	15	0.30	84.08
más de 100.0	4,318.58	7.73	28	0.58	154.24
Total	43,269.53	77.45	4,959	100.00	

Fuente: Consorcio

CUADRO 7.15
PREDIOS POR MODOS DE ADQUISICIÓN

RANGO/ha	ÁREA	%	PREDIOS	PREDIOS (%)	ÁREA MEDIA
Tradición	29,932.50	56.62	3,195	57.19	9.37
Sucesión	12,455.40	23.56	1,436	25.70	8.67
Ocupación	5,428.98	10.27	492	8.81	11.03
Prescripción	70.40	0.13	2	0.04	35.20
Otros	4,979.32	9.42	462	8.26	10.78
Total	52,866.60	100.00	5,587	100.00	

Fuente: Consorcio

Las condiciones actuales de la tenencia de la tierra en la zona son muy poco definidas en la cuenca. Y **se necesita una transparente tenencia de la tierra** para que el campesino vea cómo las medidas de manejo del suelo agrícola, la reforestación sin posibilidades de explotación, y las medidas de reordenamiento del espacio, son en su propio beneficio. Lo que facilitará su colaboración a las mismas, o al menos que no las obstaculice.

La importancia de la regularización de los títulos de propiedad es clara. Se estima *que aumentará el valor de los terrenos en un 30%*. Y convertirá a los productores en sujetos de créditos inmobiliarios a través de la banca agrícola y comercial, lo que puede ser el mejor incentivo para la regularización catastral.

8. EROSIÓN, SEDIMENTACIÓN Y RECURSOS HÍDRICOS

ÍNDICE

<i>Erosión</i>	332
<i>Sedimentos</i>	337
<i>Control de la erosión y manejo de los sedimentos</i>	343
<i>Control de torrentes: Presas de retención de sedimentos</i>	346
<i>Control y estabilización de cárcavas</i>	350
<i>Rehabilitación de Caminos</i>	351

EROSIÓN

SITUACIÓN E IMPORTANCIA DE LA EROSIÓN EN LA CUENCA

La erosión es **el problema principal de la cuenca de Bao**. Según estudios recientes, *la cubierta vegetal puede agotarse en unos 10-25 años*, al ritmo actual destrucción del área de bosques¹. Se estima que *la pérdida del bosque húmedo subtropical* es de unas 20,000 ha/año y que la superficie explotada para carbón de leña es de unas 60,000 ha/año, según CONATEF.

Los suelos están bajo un *proceso acelerado de degradación general*, tanto de su integridad misma como de las condiciones físicas, químicas y biológicas que le habilitan para la producción agrícola, ganadera y forestal².

Proceso que afecta a la agricultura, a lo pastos, bosques, flora y fauna silvestre; en resumen, al medio ecológico en su totalidad.

Y se estima que el área erosionada en la cuenca **aumentó en un 22% en los últimos años**, llegando a *unas 405 ton/ha/año la erosión potencial de las áreas críticas (12,330 ha)*³.

El problema de la pérdida de suelo agrícola, su arrastre y transformación en sedimentos en la cuenca de Bao, se encuentra *por encima de los límites aceptables de la erosión geológica*, siendo debidos a la acción humana.

Sin embargo *estos efectos son controlables todavía*, si se implementa un plan de manejo con sus acciones físicas, biológicas, de reorganización del espacio y de educación para la protección recomendadas en el proyecto. Plan es *urgente* como única manera de asegurar la conservación y desarrollo de los recursos naturales de la cuenca, de su permanencia productiva a través del tiempo y su incremento, mediante una mejor eficiencia en su utilización. (KD-Anl, 46).

CONSECUENCIAS DE LA EROSIÓN

La erosión provoca pérdida y degradación de los suelos. Un rendimiento inferior de los suelos y los cultivos, principalmente de los suelos agrícolas ubicados en las montañas⁴. Y una disminución de las fuentes de proteína de los campesinos, la fauna terrestre y acuática.

Incrementa el proceso erosivo fluvial, causando una fuerte sedimentación en los ríos, embalses y canales de riego, dentro y fuera de la cuenca. Produce un prematuro azolvamiento de los embalses reduciendo su vida útil y ocasionando, por otra parte, serios problemas a los servicios que da la cuenca, al suministro de agua para la producción hidroeléctrica, el riego y el suministro de agua potable a la población⁵.

1 *Estudios recientes*. Al inicio de los 90, varios diagnósticos señalaban que el país se encontraba en una crisis ambiental. Y sus problemas más críticos eran los siguientes: deforestación, erosión, pérdida de productividad de los terrenos agrícolas, modificación del régimen de ríos y arroyos, contaminación de las aguas, y degradación de las costas (1).

2 *La pérdida de suelo por erosión hídrica*, su arrastre y depósito como sedimentos sobre las tierras bajas, vías naturales de drenaje y obras de infraestructura pública y privada, es comprobable por simple inspección del terreno.

3 *Erosión estimada*. La erosión está comenzando a registrarse, pero todavía se desconocen los resultados. Y la sedimentación sólo se ha medido en este estudio. Los documentos revisados no mencionan mediciones de sedimentos del río Bao y sus afluentes. Las cifras sobre el volumen de erosión de tierra, y sedimentos en los ríos, son estimados en base a la extrapolación de datos de otros países. (KD-Anl, 8)

4 *La erosión que está disminuyendo el área disponible para la agricultura*, en la cuenca de Bao. Gran parte del suelo fértil fluye por los torrentes desde la cuenca alta, produciendo además inundaciones y erosión adicional en los terrenos agrícolas de las partes medias y bajas. Sedimentación que va a los arroyos y los ríos, y tarde o temprano al embalse de Bao, disminuyendo su vida útil.

5 *Incidencia de la erosión en los servicios de la cuenca*. La cuenca del río Bao presta importantes servicios al sistema hidroeléctrico de Bao-Tavera y al sistema de riego y acueductos, de aguas abajo del embalse. Lo que exige controlar los sedimentos provenientes del proceso erosivo si se quiere dar un buen servicio.

El control de los sedimentos es necesario para que las estructuras de los servicios no sufran un deterioro rápido, dificultando y encareciendo el costo de mantenimiento de las mismas y los servicios prestados.

Empeora en el nivel de vida de la población de la cuenca, o frena su desarrollo, favoreciendo su emigración hacia otras zonas y el extranjero. Situación esta última que aumenta, cada vez más, alcanzando flujos migratorios de hasta un 60%. **(KDF-93,70).**

Consecuencias de la erosión, acelerada por la acción humana, que han motivado el plan de manejo y conservación propuesto para Bao **(41).**

LOS EFECTOS DE LA EROSIÓN EN LA CUENCA DE BAO SON CONTROLABLES TODAVÍA, “SI” SE IMPLEMENTA UN PLAN DE MANEJO

La cuenca del río Bao está atravesando por una situación crítica por la erosión. Y **su solución no puede ser postergada por mucho tiempo**, ya que *podría causar daños irreversibles* al equilibrio ecológico de la región y a las posibilidades de vida de sus habitantes.

Los problemas técnicos de la erosión del suelo en la cuenca pueden solucionarse, siempre que se den los medios y apoyo institucional para ello. La solución de los problemas técnicos y socioeconómicos, que inciden en la situación de la cuenca, exigen principalmente voluntad política; p. ej., respecto a la reforma de la tenencia de la tierra, su distribución y manejo.

La implementación de un plan que afronte realmente la conservación de los recursos naturales, y el desarrollo económico-social de la población de la zona, integrándola a su medio ambiente, **exige un cambio de visión, una modificación de criterios**, si ha de ser operativa.

Es necesario que *se reconozcan y armonicen las interrelaciones existentes entre los diferentes recursos de la cuenca*. Y esto no sólo por el documento del plan de manejo, sino por cuantos inciden y deciden sobre él (técnicos, agricultores de distinto rango y poder político).

Hay que *identificar todas las oportunidades existentes de tipo económico y de conservación, que incentiven la incorporación del campesino como promotor del desarrollo deseado* de la cuenca. Facilitando el desarrollo sostenible de la misma.

Significa darse cuenta de lo que sucede en la cuenca, de las causas y consecuencias de las degradaciones, escaseces y problemas. Implica creer que la previsión y el trabajo, la inversión, el saber hacer y la solidaridad son posibles y merecen la pena también aquí, entre nosotros.

Visiones, criterios y actitudes que son de desear de cuantos inciden en el plan de manejo de la cuenca de Bao. Pues de ellos se depende para que el plan sea una realidad.

Exige reconocer y usar **el factor tiempo como un recurso valioso de la naturaleza, a usar oportuna y responsablemente**. A fin de disminuir la degradación de la cuenca y optimizar sus oportunidades, evitando su deterioro irreversible o de costosa recuperación, de modo que contribuyan al desarrollo sostenido de la población de la cuenca.

El retardar un esfuerzo de esta naturaleza, sólo implicaría el acelerar el proceso de deterioro en el cual se encuentran los recursos: suelo, agua, foresta, y hombre dentro de la cuenca del río Bao.

Demasiadas veces llegar tarde significa no llegar. Y llegar retrasados significa llegar fuera de la mejor oportunidad, con cosecha menor o deteriorada, con un costo muy alto e innecesario.

La implementación tardía de un buen plan de manejo y conservación recupera mucho menos y cuesta mucho más. Y a veces tarda muchos años en recuperar lo que implementado oportunamente se recuperaría y optimizaría en menor plazo.

En todo caso aquí también es aplicable el dicho: *“más vale tarde que nunca”*. Pero convendría evitar pagar precios innecesariamente caros por no valorar el tiempo y la oportunidad de hacer bien las cosas oportunamente. **(KD-Anl, 8)**

CAUSAS DE LA EROSIÓN

La erosión, con su degradación de los suelos, no es producida tanto de forma natural, sino principalmente por la acción humana. Por la *tala indiscriminada*⁶ y los *cultivos de subsistencia en áreas no aptas*, en laderas con fuerte pendiente o terrenos con bajo rendimiento. Por el *sobrepastoreo en pastizales protectores*, con sobreutilización del ganado o mal uso de los pastizales. Por una agricultura sin ningún plan de manejo y conservación, que amenaza el equilibrio ecológico de la cuenca. Por los *conuqueros* y otras causas.

Erosión acelerada por la acción humana *provocando pérdidas de suelo hasta de más de 400 ton/ha/año en terrenos arables* de la cuenca de Bao, por la acción de erosión laminar. Y que ha inducido también *pérdida de suelos en otras superficies*, hasta de 20 ton/ha/año principalmente por deforestación, mal cuidado de la cubierta protectora y sobreuso de los pastos.

Y entre las **causas naturales** están *la erosionabilidad de los suelos, las lluvias torrenciales* con su alta erosividad, y *la topografía pronunciada*, entre otras.

Pero **la causa principal es el uso inadecuado de los suelos**. En la cuenca del Bao, como en la mayoría de las cuencas con fuertes pendientes, hay diversos tipos de uso de los suelos (agricultura, pastoreo, bosques etc.). Usos que si *no respetan el equilibrio necesario con la naturaleza* tienden a acelerar su deterioro, afectando la productividad de los suelos por eliminación y arrastre exagerado de los mismos.

La deforestación, la destrucción de pastizales y cubiertas naturales aceleran la *degradación de las cuencas hidrográficas* al violentar su equilibrio natural. Y, pasados ciertos niveles de deterioro, las medidas de manejo y conservación ya no sirven, teniendo que recurrir a medidas de saneamiento.

Se necesita aplicar técnicas adecuadas para el manejo de los recursos naturales para prevenir y controlar la erosión, las pérdidas de suelos y aguas, así como la degradación de la cubierta vegetativa del área⁷. (47)

TRES ZONAS⁸

1. La erosión en la zona de bosques (42% de la cuenca) se presenta principalmente como *erosión concentrada*, es gran productora de sedimentos y se debe a la acción humana.

Las *medidas de manejo y control* deben restringirse al control de la erosión concentrada y a la retención de los sedimentos productos de la misma, en esta área. Y las medidas de protección en la misma se refieren al cuidado y buen manejo del bosque.

La *erosión laminar, o superficial*, no es de importancia trascendental en esta zona. Y se recomendaron medidas de control y manejo para evitar pérdida de suelos superiores más de 20 ton/ha/año. No porque esa sea la tasa natural de la zona, protegida de la erosión laminar, sino porque la acción humana la ha afectado en forma negativa, llevándola a esa tasa. Sobre todo en los últimos años por deforestación, destrucción del suelo por mal uso de pasto y corte del arbusto protector, etc.

6 La deforestación ejerce un efecto en cadena en el suelo, desde la pérdida de capacidad de retención de agua, la reducción de pluviosidad, hasta la desertificación del terreno (ver Cuadro 8.3).

Tomando en cuenta que en la subcuenca de Bao ha habido una acelerada deforestación especialmente entre los años 1961-1967 durante el auge de la madera, se deben de considerar seriamente proyectos relativos a la reforestación. (KDAnI, 147)

7 *Uso y manejo inapropiado de los recursos naturales*. Así, un estudio de la parte baja y media de la cuenca (hasta 1,000m de altitud) clasifica el 75% del área (32,000 ha) como suelos de un espesor o profundidad útil inferior a 50cm. Suelos asentados sobre la roca madre y con una pendiente dominante que fluctúan entre 30-80%. (Conagrodóm, 1983).

Y otro estudio establece que de las 85,427 ha de la cuenca, el 87.10% corresponde a suelos con pendientes superiores a 17%. Y el 65.7% tiene pendientes superiores a 32% (Coepro, 1985).

8 Ver la distribución espacial de las dos zonas indicadas en el Mapa 10 (Fig. 8.1): "Distribución General del Espacio"

2. **La erosión en la zona ocupada en agricultura, pastos con sobrepastoreo, viviendas, carreteras, caminos y cortes, área que representa un 17% de la cuenca.** Tiene una pérdida de suelos muy elevada, *unas 400 ton/ha/año* como promedio, de acuerdo a la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), por efecto de la *erosión laminar*.

En esta zona son de importancia trascendental las *medidas de control y manejo del suelo, que deben ser exhaustivas* para evitar que siga perdiendo suelo agrícola⁹.

3. **La erosión en el resto de la cuenca, área de *pastizales no perennes, arbustos y protección*** (41% de la cuenca), se estima que varía entre las 20-400 ton/ha/año, dependiendo de las zonas, según la fórmula USLE.

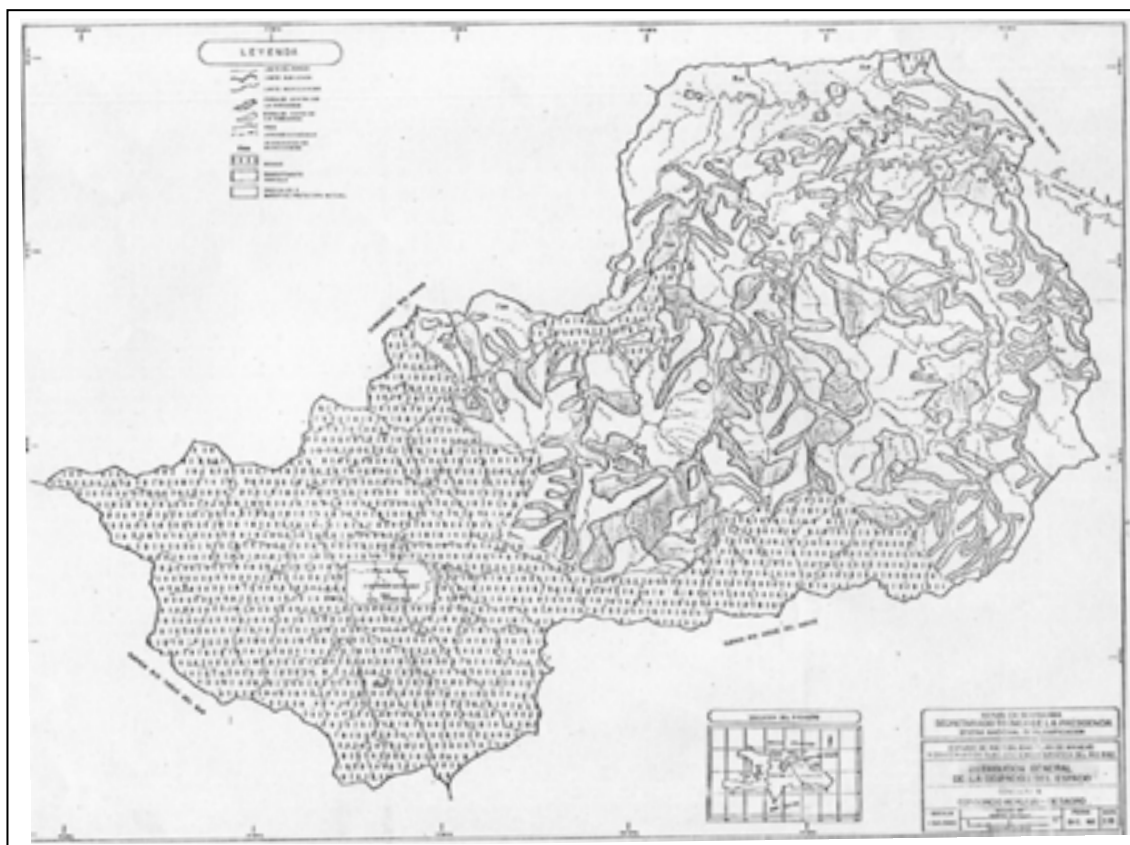


Fig. 8.1 (Mapa No. 10)
DISTRIBUCIÓN GENERAL DEL ESPACIO

En general. La pérdida de suelo no alcanza valores límites en la cuenca, y se estima en 20 ton/ha/año, como promedio.

Sin embargo, *no debería sobrepasar las 12 ton/ha/año* (valor límite, donde todavía el manejo no es necesario para proteger el suelo cultivable). Por lo que la zona *debe protegerse de los daños de la erosión*, que no significa pérdida del suelo agrícola, ni gran producción de sedimentos fluyendo a los cauces, sino donde el corrimiento de suelo es pérdida.

9 Manejo y conservación de suelos en áreas cultivadas. El uso apropiado y la conservación de las tierras bajo cultivo es una tarea esencial para la reducción de sedimentación de una cuenca, la protección de los recursos, la producción agrícola y el mejoramiento de vida de la gente. Para lograr estos objetivos hay que considerar todos los factores: físicos, socioeconómicos e institucionales. Y lo más importante, lograr que el plan sea aceptado por la gente de la comunidad. (CID-J&M, 52)

Un 17% de la cuenca necesita medidas físicas para el manejo de los “suelos eminentemente agrícolas”, no significado por tanto volumen ni costos elevados.

Y se recomendó extender *medidas físicas de protección y manejo a áreas más extensas*, así como medidas de reordenación para mejorar el uso de estos espacios.

La superficie no agrícola se divide en un 42% de bosques y un 41% de superficie mixta (compuesta de pasturas, bosque ralo y arbustos de protección natural a la erosión). En estas superficies se deben aplicar medidas de todo tipo para *restaurar la condición geológica que significa el equilibrio y el buen manejo*.

CUADRO 8.1
PÉRDIDA DE SUELO ESTIMADA

Rango de erosión Ton/Ha/Año			Pérdidas de suelo			
Intervalo	Valor Medio	Clasificación	Área (Ha)	%	Ton/Ha	%
< 12	7.5	Ninguna a ligera	6,385	7.13	47,890	0.14
13 – 51	30.4	Ligera a moderada	30,710	34.05	933,584	2.61
51 – 100	74	Moderada	2,830	3.05	2,093,990	6.06
101 – 200	148	Moderada a fuerte	4,065	4.63	601,637	1.74
201 – 500	342	Fuerte	14,716	17.38	5,032,735	14.56
501 – 1000	718	Fuerte a severa	21,707	25.68	15,585,310	45.07
> 1000	1,714	Severa	6,014	7.62	10,307,859	29.82
TOTAL			86,417	100.00	34,570,523	100.00

EL CONTROL DE LA EROSIÓN EXIGE UN DOBLE ENFOQUE

La erosión que sufre la cuenca debe ser tratada desde dos enfoques fundamentales:

- 1) *Evitar la gran pérdida de suelo agrícola*, agropecuario y/o forestal que se produce en la zona, con tasas de hasta 400 ton/ha/año (según la USLE), debido principalmente a un manejo agrícola inadecuado.
- 2) *Y controlar los sedimentos que transportan los ríos* para que no deterioren prematuramente las estructuras que se encuentran en los mismos. Como las de Bao-Tavera, ubicadas en el evacuador de la cuenca, y las de los otros servicios aguas abajo.

LA ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN CON LA ECUACIÓN USLE ES DE DIFÍCIL APLICACIÓN EN CUENCAS NO EMINENTEMENTE AGRÍCOLAS

La ecuación USLE, nacida de un espacio agrícola, por definición, es solo aplicable a terrenos arables en cultivo, con pendientes muy específicas y es de difícil aplicación a cuencas con características como las de la cuenca de Bao. Utilizar esta ecuación para cuantificar pérdidas de suelo en otro tipo de superficies o cuencas, da valores exagerados solo aplicables, en el peor de los casos, en terrenos arables en cultivo.

En los estimados de erosión para Bao, con la ecuación USLE se dan pérdidas de suelo de unas 400 ton/ha/año promedio. Tasa extrema, que supone a toda la cuenca ocupada en labores agrícolas y sin ninguna condición de manejo.

Lo que sólo es aplicable a un 17% de la cuenca, a su área eminentemente agrícola, en el peor de los casos. Y, por tanto, no puede ser determinante en el análisis de producción de arrastres o sedimentos, problema que debe estudiarse desde otros enfoques metodológicos¹⁰.

10 Ver Cuadro 8.1 “Pérdida de Suelo Estimada”.

EROSIÓN Y GEOMORFOLOGÍA

Para el manejo de los recursos naturales de la cuenca del río Bao **el principal problema es la generación excesiva de sedimentos**, que eventualmente se depositan en la presa de Bao.

La solución al problema de la erosión en la cuenca requerirá un *enfoque de objetivos múltiples, método integrado* y un equipo interdisciplinario, incorporando todas las agencias gubernamentales y no gubernamentales que inciden realmente en la cuenca.

La cuenca alta es fundamentalmente montañosa, de roca granítica y altas pendientes, y una gran parte de la misma está ubicada dentro del parque nacional.

En esa zona *la deforestación es el factor primario de pérdida de suelos*, mientras que el factor secundario lo constituye la agricultura de subsistencia. La erosión superficial no es muy alta, y los cauces de los arroyos están sólidamente acorazados a pesar de que la parte superior de la cuenca no es la fuente principal de sedimentos.

Los *taludes pronunciados están sujetos a deslizamiento* con las lluvias torrenciales provocadas por las tormentas tropicales y los huracanes. Esta tierra y roca se van depositando en grandes cantidades en el sistema de canales naturales, hasta que las crecidas de otras tormentas los *transporten* hacia partes más bajas y eventualmente al embalse de Bao.

La parte media de la cuenca, constituida en su mayoría de roca metamórfica, tiene por lo general un *relieve poco escarpado, pero las pendientes se mantienen muy pronunciadas y tiene una alta densidad de drenaje*. La cubierta forestal es abundante a través de toda esta parte de la cuenca, pero la agricultura de laderas y el pastoreo se practican intensamente.

La erosión superficial aporta la mayor parte de los sedimentos que van al sistema de canales naturales. Sedimentos que son también aportados por la red de caminos durante los temporales intensos. La remoción en masa es menos frecuente y de menor volumen, que en la parte superior de la cuenca.

La parte baja de la cuenca es una mezcla de material parental metamórfico y sedimentario. El *relieve general es atenuado, pero la densidad de drenaje natural es elevada y las pendientes son pronunciadas*, al igual que en la parte media. Densidad de drenaje que está incrementada por la red de caminos y senderos así como por la agricultura de laderas y el pastoreo, que se practican intensamente.

Zona de vocación agropecuaria, el factor principal de los sedimentos es una *combinación de alta susceptibilidad a la erosión y ausencia de prácticas de conservación* de suelos. Por otra parte, los distritos de riego son otro factor importante de degradación de los suelos, en ellos un 52% de los suelos presentan índices de degradación, elevado índice de *salinidad o la pérdida de su estructura*.

La erosión superficial en las laderas que solo están bajo pastos no parece haber alcanzado niveles perjudiciales importantes. Las principales fuentes de sedimento las constituyen *los taludes de las laderas cultivadas y los canales naturales*.

Los bancos y los cauces de los tramos bajos de los ríos y arroyos son materiales aluviales y viejos depósitos sedimentarios. El transporte de sedimentos desde los campos cultivados, de los caminos y del material del lecho del río, presenta condiciones para el máximo transporte durante los altos caudales ocasionales. (CID-J&M, 30-32)

SEDIMENTOS

PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA DE BAO¹¹

La erosión de los suelos de la **cuenca produce un volumen de sedimentos de 1.5M m³/año**, que inicialmente se depositan en las áreas intermedias de la cuenca. Y durante los grandes períodos de lluvia son arrastrados y pueden llegar al embalse de Bao, disminuyendo su período de vida útil¹².

11 Sobre la producción de sedimentos, ver: "Determinación de Sedimentación en el Embalse Bao." (Sep.1991), de Kokusai-Desagro.

12 Los sedimentos que se producen en la cuenca están relacionados principalmente con la situación de la tenencia de la tierra, y el uso y manejo de la misma al margen de su capacidad, como ya dijimos. (KDAñl.I 1)

Entre los factores de la producción de sedimentos en la cuenca de Bao cabe destacar los siguientes:

1. La cuenca del río Bao tiene anualmente *dos períodos secos muy marcados, en los que el suelo queda prácticamente al desnudo*. Y en el período de lluvia los suelos son más susceptibles a la erosión y, por lo tanto, a producir abundante sedimento.
2. La cuenca tiene un *déficit anual de 250mm de agua*, al recibir 1,650mm de lluvia anual como promedio y tener una pérdida anual 1,900mm por evapotranspiración. Lo que provoca que la vegetación menor muera durante los períodos secos, dejando el suelo al descubierto. Y, así, regiones que inicialmente eran poco erosionables pasan a grandes productoras de sedimentos.
3. En la zona, como dijimos, las precipitaciones son de origen orográfico, originadas por nubes del tipo cúmulo y cúmulo-nimbo, que producen *lluvias intensas y de corta duración*. Son de energía erosiva, y al encontrar el suelo desnudo aumenta el arrastre de las partículas hacia las zonas más bajas y de éstas a los cauces de ríos y arroyos.
4. Los *huracanes, o fenómenos meteorológicos* extraordinarios, que pueden cruzar sobre la cuenca, produciendo inundaciones superiores a los 600m³/seg. No ha ocurrido ninguno de ellos desde que se construyó la presa de Bao, pero hay que contar con ellos, como ya le pasó a Tavera.

La producción y arrastre de sedimentos es favorecida por 1) una *muy buena capacidad natural de atrape de la cuenca* y 2) por un *muy bajo porcentaje de atrape del embalse Bao, que no representa valores incontrolables*.

La retención de otros sedimentos es también de fácil solución en base a la extensa red de drenaje secundaria, de seguirse las sugerencias del plan de manejo.

La erosión y producción de sedimentos es perfectamente controlable, y si se aplican medidas adecuadas, pueden lograrse importantes reducciones de niveles.

LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS, EL EMBALSE DE BAO Y LA CUENCA

Potencial hídrico de la cuenca del Bao y sedimentación

La preservación y acrecentamiento del potencial hídrico, mediante la *protección del elemento en que se basa, el agua*, es de importancia capital.

Y un factor importante para ello es el *nivel de sedimentación* del embalse de Bao, uno de los condicionantes decisivos de los volúmenes de agua disponibles para su aprovechamiento. De ahí que *el lodo y la arena* que recibe de su área tributaria, y que lo sedimentarán más tarde o más temprano según sea el ritmo de su flujo y deposición en el mismo, sean algo a tener muy en cuenta¹³.

Sedimentación en el embalse de Bao (1984-1991)

En el embalse de Bao, desde la fecha su construcción (1984) hasta 1992, no se hicieron mediciones de los sedimentos.

Según un estudio de Kokusai-Desagro **el volumen total de lodo y arena sedimentados en el embalse** fue de unos 717,000m³ en esos siete años, de los que un 72% fueron aportados por los ríos Bao y Jánico¹⁴.

13 *Otro condicionante decisivo* es que el agua llegue con abundancia a los embalses, como se comprueba dramáticamente en los periodos de sequía.

14 *El volumen total de la carga en suspensión y de la carga del lecho que se aportaron en la laguna* de la presa en las cuatro ocasiones de inundaciones de pequeña escala se estima en 7,400m³.

Lo que supone una sedimentación promedio de unos $90,000\text{m}^3/\text{año}$, un arrastre de unos $120\text{m}^3/\text{km}^2$ de suelos de la cuenca anualmente, y llenando en dicho período un 0.5% de la capacidad el embalse.

Sedimentación que es muy baja hasta el momento, e inferior a la estimada cuando se construyó la presa ($1,5\text{M m}^3$) Por lo que no es un problema grave y no justifica, en sí, el tomar medidas para proteger los 50 años de vida útil para el cual fue diseñada esta presa¹⁵.

Pero el **potencial de acumulación repentina de sedimentos**, con ocasión de inundaciones mayores, se incrementa año por año¹⁶. La sedimentación de Bao es baja, pero hay que recordar que durante esos siete años *no tuvo ninguna gran inundación*, como las provocadas por el huracán David, en el embalse de Tavera (situado a 8km al oeste de Bao, llenando un 8.9% de su embalse). De ahí que sea muy importante disminuir al mínimo la acumulación de sedimentos en los afluentes, con lo cual se protege la cuenca y al embalse de Bao de las sedimentaciones acumuladas que arrastran las grandes inundaciones. (KD-ANI, 1454-145).

Hay muchos lugares en la parte baja de las pendientes con la superficie inestable por la sedimentación. Y para poder fijar los sedimentos e impedir que se transporten hacia la parte baja de la cuenca se necesita hacer obras civiles (paredes de retención de tierra, presas de retención de arena, u otros tipos de obras de estabilización de tierra) y hasta el momento se han hecho muy pocas obras de este tipo en el área.

Y se estima que *el volumen de sedimentos que puede recibir el embalse con cierto tipo de inundaciones es de unos 40 a 55M m³ de lodo y arena*, lo implica pérdida de suelo de la cuenca por una cantidad similar, si no se toman medidas preventivas años antes. Lo que reduciría drásticamente la vida útil del lago de Bao, que tiene actualmente una capacidad de almacenamiento efectivo 125M m^3 (y una capacidad máxima de almacenamiento de 280M m^3). (An7s,iii)

Por lo que es de vital importancia conocer los volúmenes de sedimentos que arrastran los ríos de la cuenca, para desarrollar un *plan de conservación de la cuenca*, con el fin de preservar los caudales que tributan al complejo Tavera-Bao y a otros servicios de la región. Así como para la conservación de los suelos.

La mayor parte de la sedimentación que recibió el embalse en dicho período se debió a **cuatro pequeñas inundaciones**, provocadas por lluvias de unos 20mm diarios en toda la cuenca, produciendo corrientes de unos 100m^3 de agua, lodo y arena hacia embalse. En la mayor de las inundaciones el volumen máximo del cauce fue de $570\text{m}^3/\text{seg}$ (Enero 1988)¹⁷.

El volumen anual de sedimentación por la lluvia es superior al 1.5M m^3 y las condiciones de la naturaleza se están deteriorando cada vez más. Por lo que entre 1984-1991 se sedimentaron en la cuenca, aunque no en el embalse a las inmediatas, unos 11M m^3 de lodo y arena que pueden ser

15 Estimado de ocupación de sedimentos (0.5%), basado en que el embalse se llenó en junio de 1984, el área de la cuenca es de 864km^2 , el depósito anual en el embalse es $120\text{m}^3/\text{km}^2/\text{año}$ y el volumen inactivo del embalse es de $155,000,000\text{m}^3$.

16 Sedimentación repentina. El agua de lluvia que corre por la superficie arrastra los granos y tierra separados del suelo por la erosión, los cuales detienen su movimiento donde el agua superficial se para o se estanca. El agua puede infiltrarse o evaporarse pero los arrastres se acumulan.

Los sedimentos producidos en inundaciones pequeñas no son depositados en el río Bao sino que quedan acumulados en sus afluentes. De tal manera que cuando ocurren grandes inundaciones todo ese sedimento acumulado, junto con el nuevamente producido, son arrastrados desde la cuenca y se acumulan en el embalse de forma repentina.

Cuando se planifica una presa se considera el volumen de sedimentos por año promedio; sin embargo, en realidad la acumulación de los mismos ocurre en pocos años, durante las épocas de grandes inundaciones. (KD Anl, 144)

17 Las avenidas o inundaciones que más sedimentos aportaron al embalse de Bao fueron las de abril 1986, enero 1988, noviembre 1989 y noviembre 1990.

Para calcular los volúmenes de sedimentación en el embalse se tomó en cuenta el cambio de los niveles de agua almacenada en el lago de la presa y su hidrografía Y la sedimentación aportada por cada sub-cuenca se calculó en base al volumen total que entra al embalse, así como al volumen de agua que pasa por tres lugares en el río Bao. Se midió la profundidad de las entradas de los cinco ríos que fluyen a la presa y se determinó la morfología de los mismos. Pero no se pudieron obtener los datos del cambio del nivel de agua por hora en la ocurrencia de inundaciones, ya que la información disponible se basa principalmente en datos tomados considerando la utilización del agua.

El volumen total de la sedimentación producida por cada sub-cuenca se está registrando desde 1984.

transportados al embalse de Bao cuando sucedan inundaciones a gran escala. El lodo y arena que se acumulan en la cuenca, sin llegar al lago, tarde o temprano son arrastrados a través del agua de los ríos y llegan a sedimentarse en la presa de Bao. (An7s,ii)

El Cuadro No. 8.2 muestra las formas que adquieren los sedimentos de los cinco ríos que fluyen al embalse. Los volúmenes de sedimentos medidos son los siguientes:

CUADRO 8.2
VOLÚMENES DE SEDIMENTOS MEDIDOS

	% de Cuenca	Volúmen de Sedimento Qg (m ³)	% de Sedimento
Río Jánico	5.3	519,000	72.4
Río Bao	52.0		
Río Jagua	20.4	94,500	13.2
Río Baiguaque	8.6	37,125	5.2
Río Guanajuma	13.7	66,000	9.2
Total	100.0	716,625	100.0

CUADRO 8.2.1
SEDIMENTACIÓN DE LOS CINCO RÍOS
DE LA CUENCA EN EL EMBALSE DE BAO

Subcuenca	Extensión proporcional (%)	Volumen de Sedimentación (m ³)	Proporción (%)
1. Río Jánico	5.7	519,000	72
2. Río Bao	50.6		
3. Río Jagua	20.7	94,500	14
4. Río Baiguaque	7.9	37,125	5
5. Río Guanajuma	13.9	66,000	9
Total	100%	716,625	100

(KDF93)

SEDIMENTOS EN LOS EMBALSES DE TAVERA Y BAO

Los sedimentos recibidos en el embalse de Bao son unos $171,000m^3/año$, como promedio, unas 2.01Tm anuales/ha de la cuenca¹⁸. Sedimentación que parece *muy reducida frente a la gran sedimentación observada en el de Tavera*¹⁹.

Y, sin embargo, *las condiciones naturales del río Bao son similares* a las de Tavera, como se deduce de la observación del flujo de los sedimentos depositados en Tavera. Por lo que cabe esperar que inundaciones semejantes, y con parecida cantidad de sedimentos puede darse en Bao. (KDAñl, 144)

18 $171,000m^3$ como promedio. Promedio del total acumulado durante los 8 años después de construida la presa, en el período 1984-1991.

19 *Sedimentación en el embalse de Tavera*. La presa Tavera, en el río Yaqué del Norte, está conectada con la de Bao por un canal a cielo abierto, y fue puesta en operación en 1973. Según datos del INDRHI, de 1973 a 1979 el embalse muerto quedó ocupado con sedimentos en un 32% (en seis años), principalmente por los aportes de las crecidas del huracán David y la tormenta Federico.

Con la inundación de 1981 se llenó hasta un 42% del volumen inactivo de la presa, con una sedimentación promedio de $2,500m^3/km^2/año$. Sedimentación que en 1988 se estimaba en un 69% del volumen inactivo, es de unos $34.3Mm^3$. (KDAñl-93, 144)

La diferencia de sedimentación entre los dos embalses parece deberse a los siguientes factores:

1. *Llovió poco en los últimos ocho años (1984-1991) en la cuenca de Bao, siendo años secos seguidos. Y apenas hubo lluvias fuertes, aguaceros intensos, que son los que incrementan el volumen de lodo y arena que engrosan los sedimentos. (KD-An7s, 39)*
2. *Al embalse de Bao llega menos del 30% del volumen de lodo y arena producido por los terrenos erosionados de la cuenca, la mayoría se queda sedimentado antes de llegar al embalse.*
Si bien cuando cae un aguacero, con la intensidad que puede ocurrir cada veinte años, el mismo se lleva de una vez a la presa todos los sedimentos acumulados en los ríos²⁰.
3. *Tavera recibió los sedimentos transportados, originados y acumulados, por las grandes crecidas del huracán David y la tormenta Federico (1979). Lo que no le ocurrió a Bao, que desde su llenado no tuvo huracanes o tormentas de esa magnitud.*
Sin embargo, el LANDSAT *ha detectado una alta degradación de los suelos en la cuenca de Bao*²¹. Gran parte de ella corresponde a suelos erosionados que aún no han llegado al embalse, pero ya están en camino. Sólo es necesario que cierto tipo de huracanes o tormentas ocurran para que lleguen al embalse. El mismo volumen de sedimentación puede ocurrir en un solo huracán que acaece cada cien años como en las cincuenta veces que se dé uno que retorna cada cinco años.
4. *Por otra parte, la diferencia entre el volumen de “pérdida de suelos” y los “sedimentos recibidos en el embalse de Bao” parece explicarse por una buena “capacidad de atrape” de la cuenca misma, sobre todo en las regiones ocupadas por agricultura en pendientes empinadas, y*
5. *Así como por una muy baja “capacidad de atrape” del embalse de Bao como consecuencia de su canal que interconexión con el de Tavera, lo que implica un fuerte transporte de sedimentos que, sin depositarse en cantidades en el Bao, fluyen hacia el de Tavera*²².

Peligro que aumenta ya que las zonas media y baja de la cuenca están altamente deforestadas y con una explotación agrícola y ganadera que genera, cada vez más erosión y sedimentos que tarde o temprano irán al embalse. Lo que aumenta las posibilidades de que al ocurrir una inundación como la del David los volúmenes de sedimentos recibidos por el lago de Bao sean mucho mayores que los 55Mm³ estimados.

20 *Al embalse menos del 30% lodo y arena producidos.* El volumen de lodo y arena que se produce a partir de las pendientes de la cuenca se estima en 1.52M m³. Y de ese volumen apenas un 6% (vs 20%) del lodo y arena producidos llega a los ríos, lo cual implica un gran peligro. Los sedimentos se encuentran provisionalmente en los lugares de menor altura, y los mismos pueden derramarse de una vez a los ríos y al embalse cuando caen fuertes aguaceros.

21 *LANDSAT: alta degradación en la cuenca de Bao.* Concretamente en las zonas de Bohío Viejo, Los Montones. La Cana, Los Lirios. Don Juan, Fortaleza, La Bija, así como la zona de Pinalito y Las Mesetas.

22 *La sedimentación en el embalse de Tavera* fue estudiada en 1978 y 1981. Durante los primeros cinco años (1973-1978) la tasa de sedimentación fue de 1,300 m³/km²/año. Y durante los primeros ocho años la tasa fue de 2500 m³/seg/año, debiéndose en gran parte a las grandes crecidas del huracán David y la tormenta Federico en 1979.

	Vol. Acumulado de Sedimentos	% del Vol. Total
1973 - 1978	5,082,405	4.2%
1979 - 1981	10,617,595	8.9%

Y durante 1988 se presentaron problemas de obstrucción por sedimentos y troncos en la toma del túnel de conducción que alimenta la central hidroeléctrica del complejo Tavera-Bao.

Para el caso del embalse de Bao no existen levantamientos después del llenado del embalse, hasta fecha posterior. Para Bao se dispone de las secciones transversales del embalse previas al cierre de la presa, de acuerdo con el sistema de líneas de sedimentación trazado por J. Lara, en 1979.

CID-J&M propusieron que para estudiar los sedimentos de la cuenca del Bao se hicieran mediciones de los mismos no sólo en los embalses de Bao y Tavera, sino también en el contra-embalse de López.(CID-J&M, 96).

DATOS HIDROLÓGICOS DEL EMBALSE DE BAO

Caudal máximo

El caudal máximo registrado (en el embalse) fue de unos 570m³/seg durante la inundación de 1988, manteniendo un caudal descendente por más de seis horas y un volumen medio de unos 70m³/seg.

Del análisis de las cuatro inundaciones del embalse (período 1984-1992) se desprende que la máxima concentración de agua se produce a las seis horas, con un factor de rendimiento de 0.5, siendo la lluvia máxima potencial 45.8mm y la lluvia efectiva 17.2mm. Los caudales de descarga máxima se presentaron a las seis horas con 572.1m³/seg. Máximos todos que corresponden a la inundación de 1988²³.

Volumen de sedimentos que transportaría al embalse una inundación/huracán modelo

El volumen de la corriente del río Bao, en caso de inundación modelo puede alcanzar los 4,450m³/seg y el volumen de sedimentos hasta 40Mm³. Y si se añaden los sedimentos procedentes de los afluentes el volumen total de sedimentos que ingresarían al lago de Bao, sería de 55Mm³, un tercio de la capacidad del lago.

Este tipo de inundación no ocurrió todavía en la vida de la presa de Bao, pero puede ocurrirle como ya le sucedió al embalse de Tavera con el huracán David (1979). En esa ocasión en el lago de Tavera se sedimentaron alrededor de 16Mm³ de lodo y arena, de una sola vez. Volumen de sedimentos que en el caso de la cuenca del Bao pueden llegar a 40-55Mm³, con una inundación similar a la del David, que se da cada cien años²⁴.

En el hidrograma del huracán modelo, se parte de lluvias sobre los 180mm diarios, los caudales base en Tavera y Sabana Iglesia de 50m³/seg, respectivamente, y un tiempo de concentración de unas 26 horas, presentando un caudal en el pico de la crecida de 15,000m³/seg, duplicando el caudal que entraría al complejo Tavera-Bao, de las cuencas de Tavera y de Bao. Puede producir una descarga máxima de 4,450m³/seg, con lo que sólo el Bao llevaría unos 40Mm³ de sedimentos al embalse y entre los cinco ríos de la cuenca llevarían 55Mm³ de lodo y arena.

Esto indica que de ocurrir un fenómeno como el David sobre la cuenca, la capacidad de almacenamiento del embalse de Bao se reduciría en más de un 30%, disminuyendo drásticamente su vida útil y el nivel de operación del mismo. Por lo que urge tomar medidas preventivas. (An7s, 66)

Para los expertos meteorológicos la isla tiene altas probabilidades de recibir un ciclón en los próximos años, según los análisis estadísticos de frecuencia. El cual se supone no sea tan fuerte como el David (1979) pero sí con lluvias suficientes para producir caudales sobre los 1,000m³/seg, que arrastran grandes volúmenes de sedimentos.

Por todo ello es recomendable que se ejecute cuanto antes el plan de manejo y conservación de la cuenca. Aplicando las prácticas de control de arroyos, torrentes y cárcavas, a través de obras civiles o vegetativas. Evitando al máximo el sobrepastoreo, la agricultura intensiva y de subsistencia. Fomentando el desarrollo de cultivos perennes, como el café y los frutales, acompañados con prácticas de conservación de suelos y aguas.

Sedimentos y vida útil del embalse de Bao. Al embalse de Bao llegan 170.000m³/año de sedimentos como promedio, como dijimos. Lo que *no requiere medidas especiales para el control* de los mismos ya que, con esa tasa, su vida útil estaría asegurada para períodos aceptables.

23 *Caudal máximo e inundaciones.* Para un análisis de las cuatro inundaciones ocurridas en el embalse de Bao (1982, 1986, 1988 y 1989), ver An7s, 40-42.

24 *El embalse de Bao puede recibir 40-55Mm³ de sedimentos, con una inundación como la del huracán David.* En vista de que la cuenca del río Bao es un poco más amplia que la del río Yaque del Norte, que la pendiente del río Bao es muy grande y la cuenca se encuentra muy erosionada, se estima que en la cuenca del río Bao el volumen de lodo y arena derrumbados puede alcanzar posiblemente entre 40 a 55Mm³ en ocasión de una inundación similar a la del David que llega con la probabilidad de cada cien años.

Sin embargo es *aconsejable tomar medidas más intensas que las actuales contra el arrastre*. Y esto al constatar la rápida sedimentación del embalse Tavera, que es probablemente el receptor de gran parte del arrastre producto de la cuenca del Bao, y que no queda en el embalse de Bao. Así como por el posible incremento de arrastre durante precipitaciones intensas²⁵.

La producción de sedimentos, el embalse de Bao y la cuenca. La producción de sedimentos que fluyen por los cauces parece ser *de poca importancia*, de acuerdo a las mediciones efectuadas en el embalse Bao, debido al “coeficiente de atrape muy elevado de la cuenca”. Pero, considerando el *estimado pesimista de pérdida de suelos*, según la USLE, y procurando proteger a la cuenca de la erosión y el arrastre, incluso en las consideraciones más desfavorables, se recomendaron medidas para una retención máxima de los sedimentos.

El proyecto de manejo y conservación de la cuenca del Bao consideró todas esas situaciones y recomendó, además de las medidas generales para el manejo y conservación de los recursos naturales, medidas especiales de protección y manejo del arrastre procedente de los *torrentes, cárcavas y caminos en mal estado* (cortes y rellenos), que son los grandes productores de sedimentos, en este tipo de cuencas.

CONTROL DE SEDIMENTOS, EL EMBALSE DE BAO Y LA CUENCA DE BAO

No parece necesario tomar medidas de control para prolongar la vida útil del embalse de Bao, dada su *gran capacidad de retención de sedimentos*. Su volumen muerto, para captar los mismos, es de 155Mm³ y el volumen efectivo de 125Mm³.

Y si, en el peor de los casos, un *huracán extraordinario* que se da cada cien años (el doble de la vida útil del embalse), descargara unos 40 a 55Mm³ de sedimentos, llenaría 1/3 de su volumen muerto. Lo que indica que la vida útil del embalse de Bao (50 años) está asegurada para tres huracanes de esa magnitud. Es decir para un período de 300 años, sin necesidad de medidas especiales de control.

Sin embargo, **aunque el embalse de Bao tiene una gran capacidad de retención de sedimentos, la erosión es un problema muy importante para la cuenca**. Ocasiona *una gran pérdida de suelos con sus nutrientes, degradando las áreas dedicadas a cultivos y pastoreo*.

Por lo que se propuso, como ya dijimos, además de las medidas tradicionales de conservación de suelos, la construcción de *presas de control de sedimentos para retener el suelo lo más cerca posible de su lugar de origen*, en los arroyos y cañadas antes de su desagüe en las corrientes mayores, controlando la erosión y disminuyendo el depósito de los sedimentos en los ríos.

CONTROL DE LA EROSIÓN Y MANEJO DE LOS SEDIMENTOS

Introducción

En la cuenca se distinguen **dos áreas principales** que, respecto al control de erosión y el manejo de los sedimentos, tienen características bien definidas:

- 1) El área ocupada por la agricultura, donde los suelos agrícolas se pierden en grandes cantidades y deben ser protegidos.
- 2) Y el área cubierta por bosques, pasturas y protección natural, que representa un 83% de la cuenca. Los bosques, incluidos los del parque nacional, suponen un 42% de la misma y deben ser tratados como áreas forestales en su manejo y conservación. Las pasturas, arbustos, bosque ralo, viviendas y superficie expuesta, sin presentar

²⁵ *Presa de Bao y acuicultura*. La acuicultura es una de las alternativas sugeridas para mejorar los ingresos económicos de la población de la cuenca de Bao, compatible con el buen manejo y conservación de la misma.

Por ello se recomendó fomentar el desarrollo de la acuicultura en la laguna de la presa de Bao mediante la “siembra” de alevines, dadas las excelentes condiciones que la misma ofrece. Las especies iniciales serían *la tilapia y la carpa*, por la facilidad de su crianza, experimentando con otras especies de mayor valor.

suelo erosionable, representan 35,400ha, con una pérdida de suelos y producción de sedimentos, que fluyen a los cauces, de difícil determinación²⁶.

El control de la erosión y el manejo de sedimentos se realizan en el proyecto **en base a tres acciones bien diferenciadas, que se complementan.**

- El *control de pérdida de suelo agrícola*, restringido a la zona agrícola y tratado como manejo de suelos.
- El *control de zonas protegidas* a la erosión (bosques y pastos), restringido a dichas áreas, y,
- El *control físico de los sedimentos*, a través de diversas infraestructuras (presas de retención de sedimentos y uso múltiple, defensa de cauce, control de cárcavas, rehabilitación y construcción de caminos vecinales, etc.).

Y se requieren **dos tipos de medidas, físicas y buen manejo vegetal**, para el control de la erosión y el manejo de los sedimentos.

Los tratamientos vegetativos pueden reducir la erosión hasta en un 98%. Con cobertura de pastos, buen manejo del ganado y mejoramiento de la fertilidad del suelo (con fijación del nitrógeno atmosférico por el uso de leguminosas en las pasturas mejoradas), puede disminuirse a límites tolerables de menos de 10 ton/ha año, como efecto de las prácticas de conservación de suelos. Las actividades de *control de erosión en los cauces de las márgenes de los ríos* ayudarán a la estabilidad de los elementos biofísicos.

Y la *construcción de presas de control de sedimentos* ayudará la reducción de éstos, en forma significativa.

Con un buen programa de control, con esa doble vertiente, se tendrán reducciones muy importantes de la erosión, disminuyendo la deforestación y aumentando la cobertura boscosa.

Ante la alta tasa de “pérdida de suelo” en la cuenca (entre 20 y 400 ton/ha/año, según la condición de los terrenos²⁷), se recomendó la reconversión del uso de suelos de 9,085ha de la cuenca²⁸. Controlando la erosión al tiempo que se obtienen otros beneficios, orientándolas a una dedicación más productiva y más adecuada a su capacidad, y a un “mejor manejo y conservación de los suelos”.

Y esto mediante *prácticas agrícolas* que eviten la pérdida de suelos y mejoren el rendimiento de los cultivos. Y *prácticas de control de la erosión*, económicas y muy efectivas, tales como cultivos en curvas de nivel, terrazas, zanjales de ladera, incorporación de residuos, etc.

Las medidas para el control de sedimentos deben quedar restringidas a los cauces y a sus alrededores inmediatos, bajo esas condiciones. Presas de contención de sedimentos, tratamientos de los caminos próximos a los cauces y control de los deslizamientos, permitirían reducir el arrastre de los sedimentos a valores compatibles con la protección de las estructuras en el evacuador de la cuenca.

El control de los sedimentos desde sus orígenes se ve favorecido por la extensa red de arroyos que fluyen a los cinco ríos principales, y la condición de los mismos. Y favorecen la efectividad del control de los arrastres a las obras de servicio, tanto en la cuenca como aguas abajo de sus evacuadores.

26 *Erosión de difícil determinación.* En estos casos la aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo pierde sentido si se intenta aplicar en la superficie total porque no se trata de “superficies agrícolas”, sino que la “pérdida de” debe también interpretarse como el corrimiento del suelo por acción hidráulica hasta cualquier nivel más allá del área de cultivos, aunque éste no alcance el curso hídrico que le transporta.

Y porque estas superficies, protegidas durante la mayor parte del año, no son, en su condición natural ni muy erosionables ni grandes productoras de sedimentos a los cauces. Las superficies de pasturas están protegidas naturalmente de la erosión laminar mientras la acción humana y la sequía no perturben o eliminen esta protección.

27 *Tasa de 400 ton/ha/año* que refleja una superficie eminentemente perturbada, por la desaparición de sus protecciones.

28 *La reconversión del uso los suelos de 9,085hs* fue recomendada por el Plan de Manejo de la Cuenca de Bao. Plan que tiene como su objetivo principal el control de la erosión, dentro del “manejo y conservación de los recursos naturales” de la cuenca.

En la actualidad, *la gran mayoría de las cañadas están bien forestadas* en los márgenes, lo que garantiza una baja contaminación de las aguas en las mismas. Y hay sectores *campesinos usando prácticas de conservación de suelos*, con pachulí y caña de limón, asesorados por técnicos del Plan Sierra. E *históricamente se ejecutaron una serie de pequeñas presas de control de sedimentos*, así como para fines de aprovechamientos del agua. Un caso más de como la cuenca de Bao fue pionera en los programas de manejo y conservación²⁹.

La erosión que existe en la cuenca y el aporte de sedimentos a los embases de Bao y Tavera, afectando su capacidad hace necesario un programa de infraestructuras³⁰, que incluya actividades para el control de la sedimentación y la estabilización de los cauces, laderas y cárcavas. Controlando y evitando el escurrimiento y la erosión en los caminos, a través de las estructuras a construir. Así como el mejoramiento y rehabilitación de las estaciones meteorológicas.

PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURAS PARA DISMINUIR LA EROSIÓN Y LA SEDIMENTACIÓN EN LA CUENCA DE BAO

La protección y estabilización de cauces y laderas incluye la *protección de 158 arroyos y cañadas* localizadas en los sectores alto, medio y bajo de la cuenca, principalmente en las áreas críticas y alrededores.

Las *presas de retención de sedimentos* se construirán en forma descendente, con muros de piedra de 1.5-2.0m de altura y base reforzada. Y se espera que un 5% *pueda utilizarse para uso múltiple*, para retención de sedimentos y como almacenamiento de agua para consumo doméstico, riego y abrevaderos del ganado.

La mayoría de los lugares donde se propuso construir estas infraestructuras son de uso público.

El control y reducción del escurrimiento y la estabilización de las cárcavas existentes. Es uno de los objetivos del “cambio del uso de la tierra”. Las cárcavas *producen gran cantidad de erosión y sedimentación*, por lo que es necesario un programa efectivo para frenar, controlar y estabilizar las mismas.

Hay muchas cárcavas profundas y activas, ubicadas en gran parte de la cuenca. Se encuentran principalmente en el canal de desvío desde el embalse de Bao al de Tavera, y en unos 350 sitios más que requieren tratamiento. Y su *control* puede hacerse con el uso de vegetación de especies nativas y la construcción de obras como presas de ramas, piedras, etc.

La rehabilitación de caminos vecinales es importante para el *control de la erosión, la sedimentación y el escurrimiento superficial*, así como para mejorar la comunicación vial.

Rehabilitación y mantenimiento que *implica* la reconstrucción de estructuras, estabilización de taludes, imprimación asfáltica en pendientes, cunetas y alcantarillas. Y se sugirió darle *prioridad a las zonas dedicadas a la producción agrícola, y de café* principalmente, como Juncalito y áreas aledañas.

La rehabilitación de estaciones hidrometeorológicas es una necesidad obvia si que—remos disponer de la información hidrológica requerida para mejorar la captación, uso, manejo y distribución del recurso agua.

La cuenca *originalmente tenía nueve estaciones* y actualmente *sólo tiene tres estaciones* en operación.

Estaciones que se deben mantener, equipar y rehabilitar, para asegurar un flujo constante y confiable de *información que permita mejorar los tratamientos para el control de erosión, la sedimentación y el planeamiento de los cultivos en general.*

29 Manejo de los recursos naturales que está asociado a la estabilización de las aguas, el mejoramiento de los suelos y la protección de los bosques, previniendo los fenómenos de erosión, sedimentación y los impactos biofísicos. Por lo que su ejecución es muy beneficiosa para la cuenca hidrográfica y su aprovechamiento.

30 Programas de infraestructura. Construcción de presas de control torrentes y uso múltiple. Construcción de defensas de cauce. Control de cárcavas. Rehabilitación de caminos vecinales y de estaciones hidrometeorológicas. Y construcción de centro de capacitación.

**CONTROL DE LA EROSIÓN Y MANEJO DE LOS SEDIMENTOS:
VOLÚMENES PRINCIPALES DE LAS INFRAESTRUCTURAS**

• Excavación para la construcción de 1,425 presas y de 1,000 ml de defensas de cauce m ³	18,220m ³
• Depósito y compactación de presas y defensas en gavión	12,520m ³
• Depósito y compactación de sacos rellenos para la construcción de presas de sacos	9,900m ³
• Depósito y compactación de piedras en la construcción de pequeñas presas de escollera	8,955m ³

**CONTROL DE TORRENTES:
PRESAS DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS**

INTRODUCCIÓN

Los torrentes son las corrientes de agua que se dan en las montañas y colinas con pendientes fuertes e irregulares, especialmente en las partes altas, produciendo crecidas súbitas y violentas, erosión, transporte y depósito de materiales sólidos en gran cantidad.

En último término, *el control de los torrentes es fruto de la conservación y buena administración de los recursos de agua*, al igual que el control de la erosión de los suelos. El mejor control de torrentes es la prevención de su ocurrencia, evitando la destrucción de suelos y cauces, los arrastres, las inundaciones y la sedimentación a todo lo nivel. Y todo ello para asegurar el control de la erosión y evitar su arrastre en las estructuras.

Antecedentes de su control. El Servicio de Conservación de Suelos de la SEA ha patrocinado la construcción de series de pequeñas presas de gaviones para control de torrentes en la cuenca de Bao.

Estas presas en serie retienen el sedimento acarreado por los arroyos y al azolvarse, finalmente, producen un perfil del cauce estabilizado sin más acarreo de sedimento por disminución de la pendiente del mismo. *Sus dimensiones oscilan entre 5-17m de ancho y 1-2.5m de profundidad.*

En la cuenca se observan presas de gaviones *con más de diez años de operación, ya azolvadas*. Y otras más recientes, de 3-5 años, que demuestran la relativa continuidad de los trabajos en este campo.

Sin embargo, *es insuficiente el número de obras de este tipo*. No se ejecuta en la cantidad que se necesita, especialmente en las zonas más proclives a la erosión, debido a la escasa disponibilidad de recursos. (KDAnI, 143)

PLAN DE CONTROL DE TORRENTES

Se recomendó ejecutarlo *en las partes más escarpadas* a fin de reducir los arrastres de material, con las medidas siguientes:

En primer lugar, *con medidas de tipo biológico-forestal* a efecto de mejorar la cubierta vegetal en la zona de captación, reduciendo la escorrentía y propiciando la infiltración del agua y prolongar el tiempo de concentración.

En segundo lugar, *con obras de ingeniería civil*, construyendo obras simples para retención de sedimento, corrección de cauces, reforzamiento de taludes y obras de drenaje³¹.

31 *Obras de ingeniería civil:*

1) Transversales: diques de retención, diques de consolidación. Rampas, escalonamiento.

2) Longitudinales: muros laterales de gaviones. Revestimiento de taludes, empedrados de fondo. Canales, regularizaciones.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

Y se deben proveer *medidas de tipo agro-socioeconómico* para implementar cambios en el uso de la tierra de acuerdo a la vocación del suelo y su condición orográfica y climática, y teniendo en cuenta los aspectos crediticios y de derechos de propiedad. (KDAnI, 157-159)

Se identificaron **158 arroyos y cañadas con problema de torrentes**, localizados en los sectores alto, medio y bajo de la cuenca, en áreas críticas y no críticas (por el grado de erosión que las afecta). Y también en las partes superiores de la cuenca, tanto en el parque nacional como fuera de él.

Los arroyos y cañadas seleccionados para *la primera etapa del control de los torrentes*, totalizan 338.6km de longitud.

Se recomendó centrarse inicialmente en las áreas críticas seleccionadas, por ser las más afectadas por la erosión y la sedimentación. Ubicar las presas de retención de sedimentos cerca de las zonas de producción de arrastres, que suelen estar próximas a los cauces (ver Fig. 8.2).

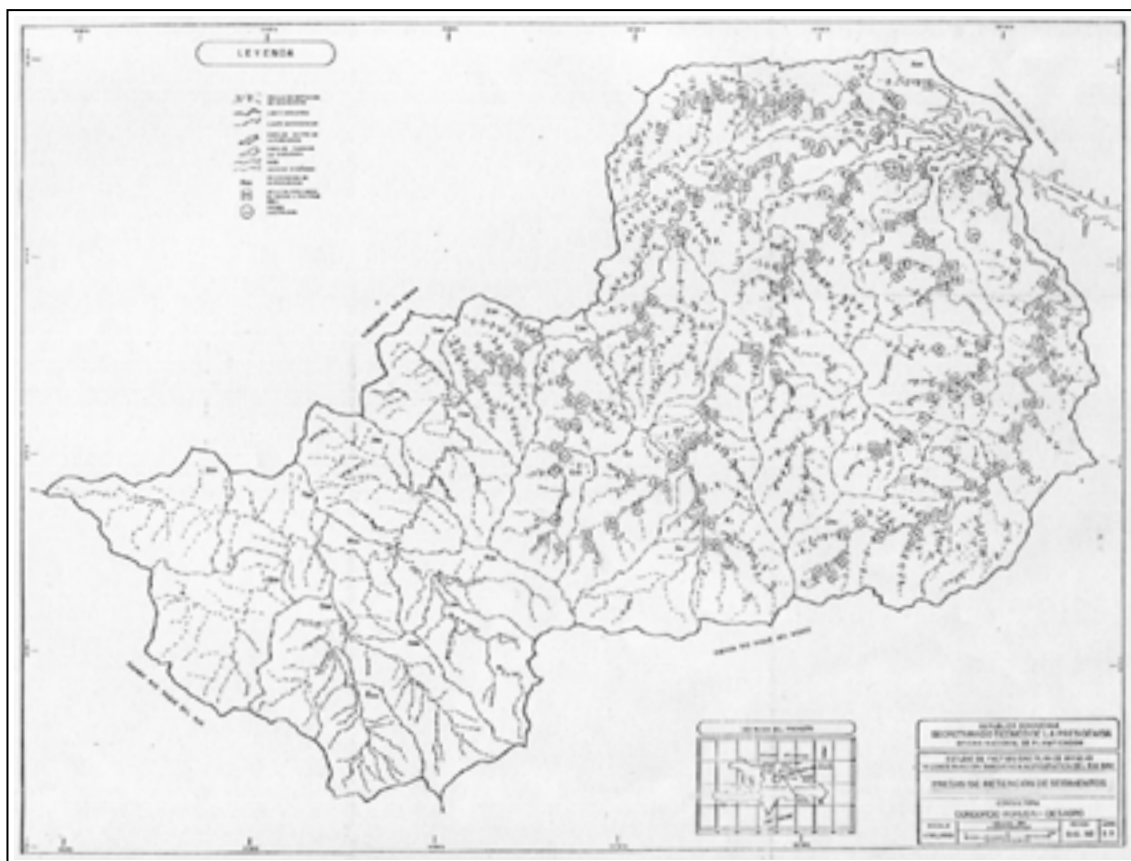


Fig. 8.2 (Mapa No. 13)
PRESAS DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS

Y se recomendó *implementar prioritariamente estas medidas en la zona de los alrededores del embalse de Bao*, zona con un uso intensivo de la tierra, y un manejo de la misma que propicia la erosión. Además de que la próxima crecida extraordinaria que tenga el río Jánico o el Bao es muy probable que multipliquen el volumen de sedimentos que arrastren al embalse del Bao, al transportar los sedimentos que están retenidos curso arriba de ambos ríos. (KDAnI, 159)

El plan de control de sedimentos y torrentes fue **concebido para ser ejecutado como un plan de emergencia** debiendo tener *efectos inmediatos y consecuencias significativas* en la disminución del monto y velocidad de la sedimentación en los embalses Bao y Tavera.

Por lo demás, no está demás recordar que el control de torrentes *cumple su acción en forma combinada con las demás medidas recomendadas*, como conservación de suelos, manejo de praderas, etc.

Se recomendó la construcción de 1,425 presas de retención de sedimentos (equivalentes a 7,110m de muros), algunas de ellas serán de uso múltiple. De pequeña altura, estarán ubicadas en los diferentes arroyos de la cuenca del Bao. El control de los sedimentos será total por medio de estas presas, que se propuso construir paulatinamente.

En el primer año del proyecto se construirían *158 presas, en los 138 arroyos y cañadas* (una presa/arroyo o cañada, en promedio). Presas a construir en sitios de propiedad pública o no definida, en general.

Se considera que *de las presas recomendadas un 5% podrían utilizarse como presas de uso múltiple*, con almacenamiento de agua antes de su colmatación, para consumo doméstico, micro-riego y/o aguaje de ganado. Y por ello para las presas de uso múltiple se ha contemplado la construcción de *un sistema de dos presas separadas por una capa de material fino impermeabilizante*.

PRESAS DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS: DISEÑO PRELIMINAR

Las presas de retención de sedimentos se diseñaron con una altura de 2m y un ancho de 5m como promedio, usando como materiales gaviones, piedras acomodadas, sacos de cascajo y cemento. Fueron diseñadas considerando todas las condiciones de seguridad posibles, y el factor de seguridad permisibles (1.5) se cumple en todo los casos.

La *pendiente promedio* de los arroyos donde se construirán las presas es de un 10%, desde su nacimiento hasta su desembocadura, en cauces mayores.

Y *la ubicación de las presas* se recomendó en lugares con pendientes promedio de cauce de un 5% con objeto de disponer de longitudes apropiadas para retener la mayor cantidad posible de sedimentos por presa. Lugares en los que la pendiente de los cauces será reducida al 3%, una vez las presas estén completamente azolvadas.

La presa promedio tendrá *capacidad de retención de 505m³ de sedimentos*, con una cola de sedimentos de 100m de longitud. El diseño de las presas y la cantidad de ellas que se necesitan en la cuenca, se hizo en base a *la tasa de sedimentación promedio* de la cuenca de Bao (2.01 ton/ha/año³²), según los sedimentos acumulados en el embalse de Bao, desde su construcción hasta 1993. Ver su ubicación en el Mapa 13, Fig. 8.2.

Se estima que **podrán ser de uso múltiple un 5% de las presas recomendadas para retención de sedimentos** utilizándose también como presas para almacenamiento de agua antes de su colmatación. Agua que podrá usarse para uso doméstico, micro-riego y/o aguaje de ganado.

Para tal propósito se ha contemplado la construcción de *un sistema de dos presas separadas por una capa de material fino impermeabilizante*, para asegurar un buen confinamiento del material (ver Cuadro 8.5).

Para su construcción no se propusieron enormes y costosas estructuras de retención de sedimentos, sino **presas de estructura simple y fácil construcción**. Las condiciones locales determinarán las características técnicas de cada proyecto, dentro de las normas generales para su realización, *usando los materiales, mano de obra y tecnología existente en el área*³³. Y se recomendó que estas obras sean contratadas con empresas privadas o entidades comunitarias que tengan capacidad operativa, alternativa que de ser factible constituiría una fuente de trabajo para la población local, (ver el "Volumen de las metas físicas" en el Cuadro 8.3).

32 Diseño de las presas. Cfr. Anexo 7. Apéndice A: "Determinación de la Sedimentación en Embalse de Bao".

33 *Presas de retención de sedimentos*. Un análisis económico de las mismas puede verse en el Anexo 8c: "Economía de Recursos".

CUADRO 8.3
VOLUMEN DE LAS METAS FÍSICAS (PRESAS)

Actividad Proyecto	Unidad de Medida	Cantidad
Excavación	m ³	18,220
Presas + defensas gavión	m ³	12,520
Presas de sacos	m ³	9,900
Presas de piedras	m ³	8,910

CUADRO 8.4
RESUMEN DE RESULTADOS
DE DISEÑO PRELIMINAR DE PRESAS

Alto Presa	H = 2.00m		
Material	Gavión	Piedra	Saco
Fs Volcamiento (> 1.5)	2.19	2.25	12.50
Fs Deslizamiento (> 1.5)	2.03	2.10	2.40
Aplic. Resultante (> 0.67)	0.86	0.87	0.92
Sig1 (> 0 y < 15)	1.52	1.67	2.25
Sig2 (>0 y<15)	3.73	3.73	3.75

Nota: Fs = Factor de seguridad: Sig1 = Esfuerzo en punto 1
Sig2 = Esfuerzo en punto 2
Las condiciones de seguridad permisibles se señalan en paréntesis.

PRESAS DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL BAO

Datos para el cálculo del número de presas necesitadas

Período de colmatación	10 años
Volumen de sedimento retenido por cada presa	505m ³
Área tributaria de todas las micro-cuencas tratadas	55,425ha
Tasa de sedimentación promedio de cuenca	2.01 ton/ha/año
Factor de incremento de tasa de sedimentación (10%)	1.1

CUADRO 8.5
METAS FÍSICAS Y COSTOS DE PRESAS DE USO MÚLTIPLE

CONCEPTO	Meta Física	Costo Unitario	Costo Total RD\$
Presas gavión	70 Unidades	9,380.00	656,600
Relleno	560 m ³	50.00	28,000
Total RD\$			684,600
Total US\$			54,768

CONTROL Y ESTABILIZACIÓN DE CÁRCAVAS

Las cárcavas

Formación. En tierras agrícolas, especialmente después de las lluvias violentas, *el agua de la escorrentía se concentra en las depresiones. Y al aumentar el volumen y la velocidad del escurrimiento, las aguas arrastran gradualmente todo el material del suelo excavando una zanja.* La fuerza del agua que cae

socava la parte inferior del escalón de tierra o cabeza de cárcava, que se derrumba. Las cárcavas empiezan a formarse siempre en la parte más baja de una pendiente y al remover el suelo se forma un escalón brusco y escarpado.

Las depresiones van creciendo en longitud, ancho y profundidad hasta formar grandes grietas y zanjas que dividen el terreno. Presentan forma de “V” en suelos relativamente resistentes a la erosión y en forma de “U” en suelos susceptibles a la erosión y son el tipo de cárcava más difícil de corregir. Y llegan a tener dimensiones desde menos de 1m hasta más de 5m de profundidad, drenando áreas desde menos de 2ha hasta más de 5ha.

Causas. La presencia de cárcavas profundas y activas es una *manifestación del uso inadecuado de la tierra*. De la explotación indiscriminada del bosque, uso de la tierra fuera de su vocación y sin prácticas conservacionistas, sobrepastoreo, incendios forestales, construcción de caminos sin medidas desprotección, etc.

Las causas de las cárcavas son principalmente la falta de cubierta vegetal sobre el suelo, falta de protección adecuada en caminos, etc. (KDAnI, 159)

Según el estudio de fotografías aéreas y la inspección de campo en las **micro-cuencas críticas** hay una *cárcava de unos 100ml de perímetro/100hs, como promedio. Y 350 sitios que necesitan tratamiento*, estando distribuidos uniformemente en las mismas. Zonas para las que se recomendó la construcción de muros (3,500mi)

CONTROL DE LAS CÁRCAVAS

Objetivo. El control de las cárcavas busca disminuir la socavación del terreno, mediante la eliminación o reducción del flujo incontrolado de las aguas de escurrimiento y la estabilización de los cauces y los taludes, además del cambio en el uso de la tierra.

Métodos. Para el control de cárcavas se usan técnicas como la construcción de *barreras vivas o muertas, y obras de mampostería*, entre otras. La tecnología es bien conocida en la zona debido al servicio de conservación de suelos.

El mejor método de estabilización de cárcavas es el *tratamiento vegetativo*. La revegetación total modificando la sección del cauce para permitir el establecimiento de pastos, arbustos o árboles, prefiriendo las especies nativas³⁴. Procurando evitar ganado en la zona de cárcavas.

Y modificar la pendiente para reducir la velocidad del agua a límites no erosivos, lo que puede lograrse con la construcción de terrazas o de zanjas de ladera que interceptan todo escurrimiento de aguas hacia las cárcavas.

Y en los casos de cárcavas grandes obras civiles simples (presas de gaviones y de mampostería, para la descarga de los azolves. Algunas de estas estructuras ya han sido construidas en la zona. (KDAnI, 143)

El área donde urge más el control de cárcavas es la misma que para el control de torrentes. (KDAnI, 159-160)

La efectividad de las estructuras permanentes puede incrementarse con la construcción de obras temporales, como las presas de ramas, piedras, rocas sueltas, etc., que favorecen el establecimiento de vegetación.

Las zanjas de las cárcavas pueden estabilizarse con muros de gavión, tanto en las cabeceras como a lo largo de las mismas y su fondo con vegetación de arbustos nativos de raíz profunda.

Para las cárcavas en el canal de interconexión Bao-Tavera se recomendó tratamiento vegetal, con implantación de arbustos nativos y pasto guinea o vetiver conjuntamente (15ha) y la construcción de muros (60ml).

³⁴ *Tratamiento vegetativo.* Al igual que para el control de torrentes también aquí se deben a construir “barreras vivas” con plantas de la zona para disminuir la velocidad del agua, retener los sedimentos y evitar derrumbes laterales. Sembrar pasto, de crecimiento vigoroso, para estabilizar el terreno y facilitar la siembra de árboles y arbustos en el fondo de la cárcava.



Fig. 8.3 (Mapa No. 1)
CAMINOS POBLADOS Y CIUDADES

REHABILITACIÓN DE CAMINOS

La apertura de caminos genera erosión, desequilibra la estabilidad de la masa rocosa según sea la pendiente de los cortes y los rellenos necesarios para la ejecución de la obra. Así como del material que constituye la masa rocosa, el cual expuesto a la lluvia, el viento, el sol, etc., se va intemperizando gradualmente y produciendo materiales más susceptibles a derrumbes y movimientos en masa, y generando la falla de los taludes en las zonas escarpadas de la parte alta³⁵.
(KDAI, 149)

Los caminos de la cuenca de Bao son una de las causas importantes de la erosión y la producción de sedimentos de la cuenca, parte de los cuales llegan al embalse de Bao³⁶. La erosión que se produce en los caminos, junto con los movimientos de las masas rocosas al producirse los fallamientos de taludes, da un gran aporte de sedimentos que son arrastrados hasta los embalses en la cuenca media o baja.

35 Según el "Manual de Construcción de Caminos Vecinales y Carreteras en Zonas Frágiles con Peligro de Erosión" (SEA-SEOPC, 1987), las lluvias empiezan a producir erosión en un camino sin protección asfáltica y con pendiente de 6% cuando la intensidad alcance 2.5mm en cinco minutos. Y habrá erosión en cualquier lugar, con intensidad 6-8mm en un período de 5-15 minutos.

Considerando que la pendiente de la mayoría de los caminos en las zonas de la parte alta de Bao supera con mucho ese valor y que las intensidades de las lluvias son también mucho mayores, podemos concluir que constantemente se están erosionando en las épocas de lluvias.

36 La tasa general de erosión en la cuenca de Bao es elevada de acuerdo a la ecuación universal, ubicándola en segundo lugar después de la de Ocoa. (KDF 93,157)

Por ello es urgente el *mejoramiento de caminos y taludes* de las carreteras principales, caminos vecinales y de herradura, con objeto de disminuir la erosión y controlar los sedimentos.

Plan de rehabilitación de caminos. Dada la condición actual de los caminos vecinales, con ausencia o mal mantenimiento de las obras de drenaje se necesita un plan para la rehabilitación y mantenimiento de los caminos vecinales.

Lo que implica como *prioritario rehabilitar 56km de caminos vecinales* (de los 343km existentes en la cuenca), con reconstrucción de su estructura, e imprimación asfáltica en las pendientes. Escarificación a nivel de sub-rasante, compactándola, y colocando sub-base y base.

Construcción de *cunetas* y su revestimiento en las zonas escarpadas, donde estén deterioradas (15km). Reformar el *sistema de drenaje* de los caminos en las zonas escarpadas eliminando la apertura de zanjas de drenaje a través de la calzada y colocando alcantarillas enterradas de distintos tamaños, (VS 1,213ml de 24").

Y estabilizar los taludes de los caminos vecinales construyendo muros de retención a base de gaviones (4,550ml), y sembrando vegetación en los mismos para evitar su erosión y asegurar su estabilidad.

Se recomendó que la rehabilitación de los caminos *se concentre en las zonas agrícolas*, en una primera etapa. Para ubicación de estas rehabilitaciones ver Fig. 8.3 (Mapa 1), "Caminos Poblados y Ciudades".

9. PLAN DE MANEJO Y CONSERVACIÓN PARA LA CUENCA DE BAO

ÍNDICE

<i>Manejo de cuencas hidrográficas, Medio ambiente y políticas nacionales actuales</i>	<i>354</i>
<i>La cuenca de Bao favorece la implementación de un programa de conservación</i>	<i>356</i>
<i>Plan Nacional de Manejo y Conservación de Cuencas Hidrográficas</i>	<i>358</i>
<i>El Plan de Manejo de la Cuenca de Bao</i>	<i>360</i>
<i>Evaluación del Proyecto</i>	<i>365</i>

MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS, MEDIO AMBIENTE Y POLÍTICAS NACIONALES ACTUALES

Los problemas ambientales de las cuencas hidrográficas del río Bao y otras obligaron a imponer **políticas proteccionistas**, como la *política de prohibir la tala* de los recursos forestales. Y *usar más los recursos naturales renovables según su capacidad real*, a fin de disminuir los daños que su mal uso produce en la cuenca del Bao y otras.

Los recursos naturales renovables y el medio ambiente de RD están regulados por **más de 400 decretos, leyes, resoluciones, reglamentos y otros documentos jurídicos**. Si bien con demasiada frecuencia se les ha achacado falta de *ejecución, coherencia y racionalidad*. Así la política agropecuaria de los últimos años de aumentar la producción de alimentos y financiar la producción de los mismos en áreas sin capacidad agrícola, provocando la erosión y la pérdida de suelos agrícolas, como era previsible¹.

Y en los últimos años **se crearon 22 áreas naturales protegidas**, con una extensión de 6,448km², para la protección de la biodiversidad, áreas que incluyen doce parques nacionales, o reservas científicas, un santuario de fauna y un refugio de vida silvestre. Lo que se realizó dentro de la política de ordenamiento territorial y regionalización, promovida por ONAPLAN creando asimismo institutos regionales de desarrollo con incidencia en el ámbito del desarrollo ambiental. (KDF93,58)

El Plan de Manejo y Conservación de la Cuenca Hidrográfica del Río Bao se enmarca dentro de las políticas establecidas para el manejo de los recursos naturales y el ambiente. Y trata de desarrollar políticas y acciones específicas relacionadas con el suelo, los bosques y los recursos hidráulicos de la cuenca recuperable.

EL DESARROLLO ECONÓMICO DE LA POBLACIÓN DE LA CUENCA Y LA PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

El desarrollo económico de la población de la cuenca y la protección del medio ambiente, de un modo sostenido, **implica**:

- *Armonizar las actividades humanas* y las leyes, con las exigencias de los ecosistemas de la cuenca. El desarrollo de la cuenca del río Bao depende del desarrollo integrado de los diferentes recursos tales como: suelo, agua, foresta, y hombre, existentes en la misma.
- *Elevar el nivel de vida de sus pobladores, basado en el desarrollo sostenible*, satisfaciendo las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las de las futuras.
- *Garantizar el uso correcto de los recursos naturales*, asegurando una gestión integrada de los mismos de cara al desarrollo. Y para ello es necesario establecer una estructura legal institucional y operativa que asegure el manejo de los recursos naturales renovables en forma racional y sostenible, y el control de su deterioro evitando costos futuros par su rehabilitación.

Exigencias que son **condición indispensable** para el desarrollo económico de la población de la cuenca y la protección del medio ambiente.

El país tiene recursos naturales importantes para asegurar un nivel de vida adecuado a su población, pero a condición de que haga un uso racional sostenible de los mismos. En 1940, Dominicana estaba cubierta de bosques en un 69% de su territorio, (FAO, 1948) y, al no ser manejados adecuadamente, se redujeron en forma alarmante creando graves problemas por la degradación de los suelos y del ambiente, fruto de la acción humana.

¹ Aspectos Institucionales. Anexo que en su comentario a dichas leyes estudia el factor humano, el ecológico y el agrario entre otros, así como la legislación sobre el Parque Nacional JAB.

LEYES Y DECRETOS DE MAYOR INCIDENCIA EN LA CUENCA DEL RÍO BAO

La cuenca del Yaque del Norte es la más importante de RD, con sus 7,000km² de área tributaria (14.4% del país). Su cuenca es tres veces la del Río Ozama y 2.8 veces la del Río Artibonito.

Y el río Bao es el principal afluente del Yaque Norte (ver Figura 3.4) siendo su importancia reconocida desde los primeros decretos y leyes que procuraron regular el manejo y conservación de las cuencas como desarrollos integrados:

A. Leyes y decretos de incidencia directa en la cuenca del Bao

1. Ley 3841, del 22 de mayo de 1954. Establece medidas de *protección para la cuenca del río Bao y sus afluentes*².
2. Ley 4389, del 19 de febrero de 1956. Creó la *reserva forestal Parque Nacional José Armando Bermúdez*, con fines científicos y de protección de la naturaleza, y muy especialmente *para preservar las cabeceras de los ríos Yaque del Norte, Jagua y Bao*³.
3. Ley 314, del 19 de abril de 1972. Define el latifundio en la Rep. Dominicana, considera de interés nacional la Conservación de la Ecología y los Recursos Naturales Renovables, y tiene partes sobre la cuenca del Bao⁴.
4. Ley No. 282, del 20 de marzo de 1972. Declara de interés social la *adquisición estatal de todas las tierras baldías* que existan en la República.
5. Ley 632 de mayo de 1977. *Prohíbe el corte y tala de árboles o matas en las cabeceras de los ríos o arroyos que nutren las cuencas* de todo el país.
6. Decreto 309 de octubre 1978. Declara de utilidad pública y de interés social la *adquisición por el Estado de los terrenos, propiedad de particulares, aledaños al embalse Bao**, con un área de 49,000 km².⁵ **(KDAI, 174)**

2 La Ley 3841 establece una zona de protección alrededor del vedado del Yaque, de la reserva del río Bao y afluentes, del Parque Nacional José Armando Bermúdez y de cualquier otra reserva creada o por crear. Zona de protección que tendrá por lo menos un kilómetro de ancho, después de deducir la distancia al horizonte.

Las Leyes No. 3841 (1954) y 4389 (1956) declaran de utilidad pública, sujetos a expropiación, cualesquiera que sean los lugares de su ubicación, los terrenos y los inmuebles que sean necesarios para *proteger la cuenca del río Bao*.

El Decreto No. 309, en consonancia con la legislación anterior reitera la declaración de utilidad pública e interés social, la *adquisición de los terrenos propiedad de particulares aledaños al embalse de la presa de Bao* en construcción en un área de 49.00km², describiendo los linderos correspondientes a esta área.

3 En la Ley 4389 (Parque Nacional José Armando Bermúdez) se autoriza la utilización científica de los bosques, previa reglamentación. Asimismo se permite el aprovechamiento de las riquezas madereras, en ciertas áreas del parque y el establecimiento de zonas cafetaleras. Únicamente las personas o entidades dueñas absolutas del terreno con bosques madereros, podrán tener industrias o aserraderos.

Estas disposiciones han sido modificadas por leyes posteriores que disponen el cierre de aserraderos y demás tipo de explotación maderera, tales como la Ley No. 705, de fecha 2 de agosto de 1982, y sus modificaciones, Ley No. 291, de fecha 28 de agosto de 1985.

4 En la Ley No. 314, que define el latifundio en el República Dominicana, las cuencas hidrográficas se consideran área de interés nacional para la conservación de la ecología de las regiones donde están localizadas y de los recursos naturales de la nación.

Existen en la Rep. Dominicana numerosas leyes, decretos y resoluciones relacionadas con la problemática del uso, manejo y conservación de los recursos naturales renovables. Muchas han sido inefectivas, y otras de débil cumplimiento. Las que más afectaron y/o afectan la estructura agraria en la cuenca del Bao están marcadas con un asterisco (). **(KDAI, 133)**

5 La Ley 632 sobre cuencas prohíbe el corte o tala de árboles o matas en las cabeceras de ríos y arroyos que nutran las cuencas hidrográficas de todo el país, en un área de ½ kilómetro a la redonda.

La zona de protección establecida por la Ley 3841 (río Bao) es de cuando menos un kilómetro de ancho y o sea una cantidad mayor de la ley posterior, 632, aunque esta es una ley general y aquella es especial. Y dentro de esa zona no pueden establecerse aserraderos, hornos de carbón, instalaciones para resinación (obtener resina), construir caminos o carreteras con fines de explotación maderera, hacer quemas, cazar y pescar, construir casa, chozas y ranchos. Aunque se permite a la Secretaría de Estado de Agricultura autorizar pequeños desmontes para fines de cultivos a los agricultores residentes en la zona de protección.

B. Leyes y decretos de interés para Bao

1. Ley No. 1052, del 27 de noviembre de 1928. Establece el *Vedado del Río Yaque del Norte**.
2. Resolución No. 654, del 5 de enero de 1942. Aprueba la convención para Protección de la Flora, la Fauna y las Bellezas Escénicas Naturales de los países de América, suscrita en Washington, E.U.A., el 12 de octubre de 1940.
3. Decreto No. 6845, de fecha 25 de septiembre de 1950. Dispone la *siembra de 16 bosques nacionales*, entre ellos uno en la común de Jánico y otro en la común de San José de Las Matas.
4. Ley No. 3841 (1954) y la Ley No.4389 (1956). Disponen el traslado de las familias que viven en el perímetro de la sub-cuenca del río Bao y que establece la expropiación de terrenos e inmuebles necesarios para proteger la cuenca del Bao*⁶.
5. Ley No. 5856, del 2 de abril de 1962. Sobre Conservación Forestal y Arboles Frutales.
6. Ley No. 5879, del 27 de abril de 1962. Sobre la Reforma Agraria⁷.
7. Ley No. 627 del 28 de mayo de 1977. Declara de interés nacional el *uso, protección y adquisición, en caso necesario, por parte del Estado dominicano, de todas o partes de las tierras comprendidas en las áreas cordilleranas**.
8. Decreto No. 1432, del 9 de enero de 1980. Declara de utilidad pública e interés social la *adquisición de varias parcelas en el municipio de San José de Las Matas (Plan Sierra)* por parte del Estado dominicano.
9. Decreto No. 1758, del 22 de mayo de 1980. Declara de utilidad pública e interés social la *adquisición de varias porciones de terreno en el municipio de San José de las Matas (Plan Sierra)*. (KDAI, 175)

La legislación vigente se inclina a la protección y manejo de las cuencas hidrográficas y de los recursos naturales por encima de intereses, agrícolas y forestales, que puedan atentar contra aquellos.

Tendencia cuya aplicación *habrá que comprobar en la práctica*⁸.

Pero dada la superposición de leyes contradictorias sobre la cuenca del Bao, que facilita su inefectivo o débil cumplimiento, y que por otra parte tienen lagunas importantes respecto a la situación actual **se recomendó redactar una nueva legislación para la cuenca del río Bao**, debidamente actualizada y coordinada.

Legislación que debe ser lo suficientemente explícita de manera tal *que pueda servir de marco legal para implementar un plan de manejo y conservación de la cuenca del río Bao* y su correspondiente institucionalidad. (KDAI, 179)

LA CUENCA DE BAO FAVORECE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE CONSERVACIÓN

La **importancia de la cuenca del Bao** le viene dada por sus características físicas, su limitada extensión, su situación en la región, la accesibilidad al área del proyecto y los importantes servicios que presta.

La cuenca del Bao está ubicada en una *región de gran importancia* para el desarrollo de la República. Es la principal suplidora de agua al sistema hidroeléctrico Bao-Tavera-López, el principal del país. Y la principal tributaria del río Yaque del Norte con su importante red de servicios hidrológicos

6 Estas medidas no corresponden a la realidad actual. Según las estadísticas disponibles hay una población de unos 60,000 habitantes en el área. Cantidad muy grande para hacer un traslado masivo, por lo que deben buscarse otras soluciones para resolver esta situación.

7 Y en la Ley No. 5879, de la Reforma Agraria, el legislador dominicano da protección a las cuencas hidrográficas y a la foresta nacional por encima de la reforma agraria.

8 Para más información de leyes sobre el manejo y conservación de cuencas: Aspectos Institucionales.

(hidroeléctricos, de riego, agua potable e industrial) por el Valle del Cibao hasta su desembocadura.

El diagnóstico de su situación, respaldado por el estudio de factibilidad del Plan de Manejo y Conservación de la sub-cuenca Hidrográfica del Río Bao, evidencia la *prioridad* que debe darse al desarrollo del plan de la cuenca del Bao, por encima del de otras cuencas del país.

El deterioro natural de los suelos de la cuenca del Bao, producto de la erosión geológica e hídrica, fue *amortiguado hasta hace pocos años por los bosques y el recubrimiento natural*.

Pero, en los últimos años *se aceleró su proceso de degradación*, saliéndose del ritmo natural, debido a la acción humana. No está en la situación crítica, y hasta casi irreversible, del país y/o la isla, pero hay que evitarla.

Todavía no implica medidas extremas, ni grandes costos para su recuperación, manejo y conservación con un plan de manejo adecuado, siendo rentable su implementación.

Mediante las medidas recomendadas por el plan, y que debieran ser implementadas y supervisadas por un organismo creado y mantenido para este efecto, *se puede conseguir recuperar y conservar la cuenca del río Bao* en base a un manejo que asegura el control de la erosión acelerada y del sedimentos en su totalidad, si se empieza ya.

La garantía de los servicios prestados por las aguas de la cuenca, producción hidroeléctrica en el evacuador, riego y agua potable en la cuenca del Yaque del Norte hasta su desembocadura, son un *importante factor económico*.

Las condiciones ambientales son muy positivas para la implementación del plan de manejo: están el extenso *parque nacional*, la *cobertura natural* y la *situación geográfica de la cuenca*.

El acceso al área del proyecto está garantizado por la existencia de una *buena red vial*, de 27km de carreteras y 10km de caminos vecinales, que facilitan la comunicación interna vehicular entre los diferentes poblados del mismo, en casi cualquier época del año⁹. *Sólo el parque nacional queda exceptuado* de estas facilidades (ver Mapa No. 1: Caminos Poblados y Ciudades).

Lo que contrasta con la situación de otras cuencas altas del país, donde el acceso constituye un gran impedimento y en planes similares implican costos extra para conseguir la infraestructura vial de acceso.

En la cuenca del Bao las condiciones de acceso están dadas y no implican costos adicionales.

Y la situación es muy favorable para acometer el desarrollo de un plan de manejo y conservación de la cuenca hidrográfica del río Bao.

Históricamente la cuenca del Bao fue una de las primeras que incentivaron desarrollos de manejo y conservación. Y en ella se han interesado varias instituciones públicas y privadas de gran importancia en el país, para realizar diversos desarrollos en la misma. Instituciones que han colaborado en la preparación del Plan de Conservación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Bao.

Por otra parte *la legislación vigente y la actitud oficial*, de que la conservación y manejo de cuencas es algo fundamental y necesario para el país, parece confirmar que el momento actual es favorable para acometer un plan de manejo de la cuenca¹⁰.

9 *Carreteras y caminos de la cuenca del río Bao*. En la cuenca hay 27km de carretera y de 110km de caminos vecinales, haciendo una densidad vial de 0.16km de camino/carretera por cada km² de cuenca.

Para una enumeración de las carreteras de la cuenca y su kilometraje, así como para una descripción de la "condición actual de algunos caminos", ver **KDAN1153-56**.

10 *Ordenamiento y zonificación*. El ordenamiento de una cuenca consiste en la coordinación de actividades para equilibrar los objetivos que puedan ser conflictivos, según el plan maestro elaborado de acuerdo a los objetivos fijados, y lograr que sea coherente en el uso de los recursos, disponibles. Creando las condiciones para un desarrollo sostenible, y asegurando la interacción de actividades, que de no realizarse, pudieran poner en peligro los objetivos globales.

La zonificación propuesta de la cuenca se realizó a fin de aunar el objetivo de identificar y agrupar áreas con características similares para determinar el uso de recursos naturales (agrícolas, pasto, bosque o protección) y el manejo y la conservación a través de las prácticas correspondientes.

PLAN NACIONAL DE MANEJO Y CONSERVACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Los programas de conservación y reforestación de cuencas hidrográficas se iniciaron en 1975 en la Rep. Dominicana con el *Proyecto de Conservación de la Cuenca de la presa de Tavera* (1975-1977). Proyecto que pretendía especialmente proteger de la erosión y la sedimentación a las estructura de la presa de Tavera. Fue ejecutado por la DGF con financiamiento del BID.

Antes, en 1973, se implementaron en *San José de Ocoa* algunas prácticas aisladas con fines demostrativos de conservación de suelos y aguas. Fue históricamente el primer proyecto afín a un programa de manejo y conservación de cuencas en el país.

Y desde 1977 se realizaron prácticas de conservación de suelos y aguas en las cuencas hidrográficas de los ríos Bao, Maguaca, Chacuey, Guayubín, Ocoa y Las Cuevas por el Departamento de Tierras y Aguas de la SEA, a través de diversos proyectos.

Pero fue por primera vez **en 1978 cuando se planteó la necesidad de elaborar planes de manejo de conservación a nivel de cuenca hidrográfica**. Surgió la idea en el Departamento de Tierra y Aguas de la SEA. Y resultado de esa iniciativa es el estudio de Kokusai-Desagro para la formulación del plan de manejo y conservación de la cuenca del río Bao¹¹.

En 1982 se determinó la elaboración de un plan nacional de manejo y conservación de cuencas por el Gobierno dominicano. Su *objetivo* principal era recopilar documentación sobre las principales cuencas del país, establecer prioridades para su tratamiento y elaborar normas generales desde el punto de vista legal, institucional y técnico

En dicho año se elaboró un documento al respecto, incluyendo los *términos de referencia para los estudios de manejo integral de las cuencas hidrográficas* de los ríos Yaque del Norte, Bao, Blanco, Nizao y Las Cuevas (39).

Documento que se completó en 1985 con los *términos de referencia para la organización e implementación del Plan Nacional de Manejo de Conservación de Tierras y Aguas*, manteniendo la prioridad de las cuencas mencionadas.

Y finalmente, en 1987, se redactó una *actualización del manejo integral de las cuencas hidrográficas* de Rep. Dominicana. Informe que establece el siguiente orden de prioridades¹²:

1. Región río Yaque del Norte (Pavera, Bao, Amina, Mao).
2. Región río Yaque del Sur (Las Cuevas, Sabaneta, Mijo)
3. Región sur central (Nigua, Nizao, Ocoa)
4. Región sur central (Nigua, Nizao, Ocoa)
5. Región occidental-central (Artibonito)
6. Región Dajabón (Maguaca, Chacuey o Guayubín)
7. Región del río Yuna (Río Blanco, Hatillo)

En la década de los 80 se desarrollaron varios proyectos afines al manejo y conservación de cuencas, destacando *Pidagro II y III* (1980-1986), Proyecto que tenía entre sus objetivos la utilización racional de suelos y aguas. El *Proyecto Utilización de la Tierra* (PPA-II), cuya meta era promover el manejo de suelos y aguas, en las diferentes cuencas del país.

11 En la década de los 70, se identificó el problema del manejo de la cuenca hidrográfica y se iniciaron varios estudios, particularmente sobre el río Bao, cuenca seleccionada como prioritaria.

Los análisis teóricos fueron valiosos, pero no se hicieron mediciones de precipitaciones, caudales, erosión y sedimentación en puntos estratégicos. Datos que son básicos para la preparación de estudios de factibilidad confiables, y para la evaluación de las acciones tomadas.

12 Estudios para el plan nacional de manejo y conservación de cuencas que fueron financiados por ONAPLAN, el BID y la FAO - CONATEF, respectivamente, siendo realizados por consultores internacionales.

Los proyectos *Morena* y *Firena*, que incluían entre sus objetivos el monitoreo de la sedimentación en las cuencas de los ríos Ocoa, Las Cuevas y Nízao. *El plan de manejo Maguaca, Chacuey y Guayubín. Plan de manejo forestal de la cuenca del río Mao y los planes de agricultura sostenible.*

Y otros proyectos y actividades implementadas por diferentes instituciones públicas y privada. Sin existir, hasta el momento, una coordinación que ayude a evitar la dispersión de esfuerzos y presupuestos, la competencia institucional y la duplicidad, con pérdida de recursos. (KDAnI, 38).

Y en 1991 había diez cuencas o sub-cuencas del país con programas de manejo y conservación en diversos estados de desarrollo. Realidad que desde entonces ha variado, tanto en cuanto a la evolución de algunos programas, como a la inclusión de otros.

El proyecto de Bao en el marco de proyectos afines

Entre los diez proyectos de manejo de cuencas que había en 1991 en la Rep. Dominicana, era reconocido el proyecto de la cuenca del río Bao como de una importancia especial (cfr. Fig 2.1).

El hecho de ser el Bao la primera cuenca de servicio del importante río Yaque del Norte, el deterioro de la cuenca, la importancia del parque nacional, la existencia de una *agricultura incipiente*, hace necesario y favorece el desarrollar un proyecto de manejo y conservación. Proyecto que pueda servir de modelo a otras áreas del país.

Sus 860km² de cuenca presentan una *superficie favorable a los planes de manejo y conservación*. Dispone de una geomorfología que no favorece una superpoblación agrícola y su red hidráulica está compuesta por cinco ríos principales perennes y de regímenes no extremos.

Las características de los *servicios de los recursos hidráulicos de la cuenca* están definidas por el complejo Bao-Tavera ubicado en el evacuador de la cuenca. La importancia de los servicios de la sub-cuenca del Bao está tanto en su decisiva incidencia para el buen funcionamiento del complejo hidroeléctrico Bao-Tavera-López como en la gran cantidad de servicios de riego, agua potable e industrial que corresponden al Yaque del Norte (su evacuador) *hasta su desembocadura*.

A la luz de estas condiciones y del *diagnóstico* resumido en el Cap. 3, se ha ponderado la importancia de un programa de manejo y conservación en la cuenca del Bao.

Por otra parte, históricamente la cuenca del Bao es precursora de los programas de manejo y conservación de cuenca, lo que no fue una situación fortuita. La existencia de la riqueza forestal y de la cobertura natural de la cuenca por una parte, y por otra la deforestación creciente y el mal uso del suelo, predominante en los últimos años, urgió y urge hoy más, a ver como *prioritario* un programa de manejo integral de la cuenca del Bao.

UN PROGRAMA DE 'MANEJO Y CONSERVACIÓN DE CUENCAS' IMPLICA

1. *Conservación y mejoramiento del suelo*, de acuerdo a sus distintos usos, entre los cuales debe destacarse por supuesto el agrícola.
2. *Disminución de los sedimentos*, procurando controlar los sedimentos transportados por los ríos y que puedan afectar las estructuras que se encuentran aguas abajo del evacuador de la cuenca.
3. *Retardación de la escorrentía superficial*, evitando el flujo descontrolado de la acción laminar de las aguas.
4. *Mejoramiento de bosques y pastizales*. La situación favorable a evitar tanto pérdida de suelo como producción de sedimentos que presentan los bosques y pastizales hace recomendable mejorar este tipo de áreas en la cuenca que debe ser mantenida.
5. *Protección de los recursos hídricos*, adoptando medidas para asegurar que en los cauces no haya flujos que produzcan erosiones exageradas de los bancos o del fondo, que son grandes productoras de sedimentos.

Además, si bien la cuenca aparece protegida naturalmente por una extensa área cubierta de pastizales naturales las características climáticas del área dan un *balance hídrico negativo*, lo que hace imperioso y de primera prioridad el estudio de la cuenca, a fin de reordenar el uso del espacio que tiende a deteriorar aún más estas coberturas naturales, sobre todo en el período seco.

EL PLAN DE MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO BAO

El estudio de factibilidad del plan de manejo y conservación de la sub-cuenca hidrográfica del río Bao, **es algo largamente esperado** desde 1978 cuando el Departamento de Tierras y Aguas (SE) inició los primeros estudios básicos para un plan de manejo de dicha sub-cuenca. Estudio de factibilidad que se espera esté terminado en 1995, después de un largo proceso, más por trámites burocráticos que por elaboración técnica propiamente dicha.

Ya en los años 1950 el Agr. Miguel Canela Lázaro reclamó la *protección de la cuenca del río Bao* y el Ing. José Luna propuso un *plan de reforestación para el Macizo Central*. La Ley No. 3841 estableció medidas de protección para la cuenca del río Bao y sus afluentes (22 de mayo de 1954), dando integridad al conjunto vedado del Yaque - Cuenca de Bao - Parque Nacional J. A. Bermúdez.

En 1962 la OEA propuso un *proyecto piloto de reforestación en un área de 150km² entre los ríos Jagua y Bao*. Y en 1975 Antonini realizó un estudio geográfico de la región Jagua-Bao, cubriendo un área de 407km². (CTD-J&M. 5)

Y en los últimos años se vienen desarrollando *programas y proyectos pradales de manejo y conservación en la cuenca del río Bao por tres instituciones*, principalmente: la Secretaría de Agricultura, el Plan Sierra, y la Dirección Nacional de Parques¹³.

El plan **surgió como una necesidad de encontrar soluciones a los problemas de la cuenca**, ocasionados por la erosión y el deterioro de los recursos naturales renovables. Parte de la consciencia de que es necesario detener, a corto plazo, *el proceso de degradación de los suelos y sistemas ecológicos de la cuenca, y el arrastre de sedimentos en la zona*, con una serie de acciones.

El plan es una propuesta de soluciones a los problemas de la cuenca, después de un estudio integral de la misma.

Los principales problemas de la cuenca son *los procesos erosivos acelerados más allá de la erosión natural geológica y el uso inadecuado de los recursos naturales renovables*. Hay zonas con pérdidas de suelo agrícola que promedian más de 400 ton/ha/año, y la situación se agrava en forma continua, si no se aplican medidas correctivas. Y en los últimos años los bosques han disminuido fuertemente convirtiéndose mucho de ellos en montes de poco valor.

Problemas que están *causados* por la deforestación y el tipo de agricultura desarrollada, que ejerce gran presión sobre la tierra. Así como por el sobrepastoreo que destruye la cobertura vegetal, en un grado de difícil recuperación. El uso de terrenos inadecuados hace que se produzcan "conflictos de uso". Tal es el caso los cultivos intensivos en ladera de montaña con suelos que no tienen capacidad agrícola, o el sobrepastoreo de ganado también en laderas de montañas altamente susceptibles a la erosión.

El deterioro creciente de los suelos *provoca* una disminución en los rendimientos de los cultivos y en la capacidad de unidades animal/ha, con la consiguiente disminución de los ingresos de los campesinos. Lo que acelera el éxodo rural hacia otras áreas del país y a los EE. UU.

Su **fin** es lograr *el manejo y conservación de la cuenca y el desarrollo racional y sostenido de la cuenca*. Regulando, por una parte, las acciones de los agricultores y ayudándoles, por otra, a mejorar su productividad, incrementar sus ingresos y mejorar su nivel de vida.

13 Tres instituciones. Ver Cap 10: Instituciones que operan en la zona.

Es ayudar a manejar los recursos naturales renovables de la cuenca garantizando su conservación e incrementando su productividad, en forma integral y sostenida.

El ordenamiento de la cuenca del río Bao¹⁴ tiene un doble propósito: 1) *controlar la erosión, sedimentación y deforestación de la cuenca*, y 2) *contribuir al desarrollo económico y social de los habitantes de la misma*. Busca el equilibrio entre el uso y manejo de los recursos naturales y las medidas de protección, lo que permitirá el desarrollo social y económico de la cuenca con niveles de erosión y sedimentación aceptables.

Los objetivos generales del proyecto son:

- 1) Iniciar un *manejo sistemático de los recursos naturales renovables, reordenación del espacio* usado en la cuenca y un *mejoramiento de los sistemas productivos*, de manera que se orienten a la protección.
- 2) *Reducir las altas tasas de pérdida de suelos por erosión laminar en terrenos de ocupación agrícola o agropecuaria*. Y reducir con ello la *afluencia de sedimentos* a los cursos hídricos, tendiendo a reducir a los niveles de la erosión natural las tasas de erosión laminar, acelerada y concentrada, que se producen en las áreas protegidas por los bosques o las pasturas naturales y los arbustos.
- 3) Asegurar la *vida útil del embalse Bao*, de gran importancia energética regional y nacional, disminuyendo la acentuada acumulación de sedimentos en el mismo, por la reducción de los sedimentos arrastrados por los diversos cursos hídricos.
- 4) Asegurar el *aprovechamiento racional de los recursos hídricos y el equilibrio de su "demanda-disponibilidad"* en la cuenca y su zona de influencia (basta la desembocadura del Yaque del Norte).
- 5) Crear y desarrollar una *institución ejecutora para el proyecto* que tenga atribuciones legales y suficiente agilidad operativa para desarrollar y dirigir las actividades del proyecto.
- 6) *Proteger los bosques existentes en la zona*, y en especial el Parque José Armando Bermúdez.
- 7) *Aumentar el nivel de vida de los habitantes de la cuenca* mediante la incorporación de tecnologías apropiadas a la agricultura.

Y para conseguir eso **desarrolla varias líneas de acción** (cinco componentes). Manejo y conservación de los recursos naturales de la cuenca. Control de erosión y manejo de sedimentos. Un plan de extensión y formación de comunidades rurales. Mejoramiento de tecnologías necesarias para el desarrollo sostenible de la zona. Y creación y desarrollo de una unidad ejecutora.

Organismo ejecutor con capacidad operativa, para posibilitar y garantizar que el plan cumple sus objetivos. Organismo que no sólo debe procurar solucionar el problema del deterioro del medio ambiente y sus consecuencias, si no que también debe dar alternativas de producción más rentables para los productores agropecuarios y sus familias.

Las **actividades principales del plan** son manejo de suelos, reforestación, mejoramiento de los pastos, reconversión de parte de ellos en silvopastoriles y mejoramiento del manejo de los silvopastoriles actuales. Transformación de los cafetales, difusión y ampliación de los frutales y de nuevas alternativas de cultivos.

14 *Ordenamiento y zonificación*. El ordenamiento de una cuenca consiste en la coordinación de actividades para equilibrar los objetivos que puedan ser conflictivos, según el plan maestro elaborado de acuerdo a los objetivos fijados, y lograr que sea coherente en el uso de los recursos disponibles. Creando las condiciones para un desarrollo sostenible y asegurando la interacción de actividades que, de no realizarse, pudieran poner en peligro los objetivos globales.

La zonificación propuesta de la cuenca se realizó a fin de identificar y agrupar áreas con características similares para determinar el uso de los recursos naturales (agrícolas, pasto, bosque o protección) y el manejo y conservación de los mismos, a través de las prácticas correspondientes.

Así como mejoramiento y transferencia tecnológica. Control de torrentes, con la instalación de presas de retención y rehabilitación de caminos. Acciones en áreas protegidas y actividades de tipo ambiental.

Y como actividades complementarias investigación, rehabilitación de estaciones meteorológicas e hidrométricas. Y recopilación continua de datos para ayudar a un mejor uso del recurso agua.

El plan de manejo y conservación se desarrollará en toda la cuenca. Afecta las 86,400 ha de la cuenca y *diferencia sus actividades de acuerdo a las características de las áreas distinguidas en la misma*

Se tratarán con *medidas forestales predominantemente* el Parque José Armando Bermúdez y las zonas eminentemente boscosas, que comprenden unas 34.500 ha (un 40% de la cuenca total). Y con *medidas de redistribución del espacio y medidas para evitar pérdida de suelo*, por acción de erosión superficial, las 14,700 ha (17%) que se han considerado como susceptibles de seguir ocupadas con actividades agrícolas.

Se proyecta la *combinación de medidas de tipo forestal con medidas de tratamientos típicamente agrícolas* en las 37,200 ha restantes (43%). Y se tratará, también en forma particular, todo el desarrollo de la red hidrográfica, que comprende los cinco ríos principales y más de 130 arroyos y cañadas.

PLAN DE MANEJO

Bases para la implementación de un plan de manejo

1. Mayor *participación de los pobladores en las actividades del plan.*
2. Promoción de una *agricultura sostenible en la cuenca, ayudando a transformarla de una agricultura de subsistencia a una agricultura de mercado*¹⁵.
3. *Manejo forestal adecuado* reforestando con especies aptas agroecológicamente, así como por su utilidad económica y su acción estabilizadora del suelo. **(KDANI, 188)**
4. Integrar las tierras ganaderas a la agrosilvicultura¹⁶ y a la actividad silvopastoril facilitando la estabilidad de los suelos y mejorando el nivel de vida de los agricultores¹⁷.
5. Usar una *tecnología de fácil transferencia que permita al agricultor aumentar el rendimiento de sus predios*¹⁸.
6. *Uso de materias primas existentes en la zona* en las actividades de la población rural como agroindustrias y artesanía.
7. *Reconversión laboral de la mano de obra agrícola* a otras actividades (Agroindustriales).
8. *Uso de mano de obra de la zona*, de acuerdo a la capacidad y calidad laboral, para la construcción de medidas de conservación de suelos. **(KDANI, 185)**

15 *Promoción de una agricultura sostenible.* Las tierras agrícolas ubicadas en los minifundios serán sometidas a trabajos conservacionistas y mejoramiento de las prácticas culturales para cada cultivo. Y a medio plazo, entrarían en la capacidad de producir otros cultivos alternativos, con mayor valor agregado y con seguridad de obtener productos alimenticios para consumo propio.

16 La *agro-silvicultura* reduce el conflicto de uso, devolviendo a esas tierras su vocación y facilitando la estabilidad y desarrollo de las comunidades rurales de la cuenca. La agro-silvicultura, como sistema mixto de cultivos de ciclo corto y cultivos perennes, en un mezcla óptima de posibilidades de producción.

17 *Nivel de vida de los agricultores.* La política agraria aplicada debe estar orientada a disminuir el ausentismo y a reordenar las unidades de tierra agrícola, de acuerdo con su capacidad productiva, para que asegure el mantenimiento de las familias rurales y la oportunidad de convertir la producción de subsistencia en una producción de economía monetaria, mediante actividades diversificadas de agroindustrias, artesanía y productos adicionales.

18 Usar *tecnología de fácil transferencia que permita aumentar el rendimiento de los predios mediante la conservación y el uso racionalizado del suelo y las aguas*, mejorando las prácticas existentes y aplicando nuevas prácticas de siembra, tras conocer el potencial agroecológico y económico de los terrenos.

Y hay **dos niveles principales de participación** para la ejecución del proyecto: las instituciones participantes, y los campesinos y habitantes de la cuenca.

En el caso de las *instituciones* se han definido responsabilidades y se les han asignado áreas de intervención y recursos de personal apropiados a cada institución, para colaborar con el proyecto. Y se está procurando ayuda financiera y técnica externa, con el fin de facilitar los recursos correspondientes a cada institución según sus actividades y necesidades.

Y con respecto a los *campesinos y habitantes de la cuenca* se está procurando asegurar su participación en todas las etapas de planificación y ejecución de las actividades del proyecto. Así como fomentar y fortalecer las organizaciones sociales de la comunidad rural de la cuenca. Aplicar incentivos apropiados para las actividades y asistirles técnicamente y capacitarles por cuenta del proyecto.

Y para coordinar estos dos niveles se ha propuesto la formación de una *unidad ejecutiva*, en la que se han incluido, con derechos y obligaciones, todas las instituciones mas importantes activas en la zona.

PLAN DE CONSERVACIÓN A NIVEL DE FINCA Y DE CUENCA

Todo plan de conservación a nivel de finca *debe incluir* aspectos de aprovechamiento y buen uso del suelo, el agua y la vegetación y aspectos de protección.

Y debe *proporcionar una alternativa factible al usuario*. Si se le prohíbe cultivar en extensas zonas por razones técnicas, hay que ayudarle a incrementar su producción agrícola, pecuaria o forestal en suelos aptos. Recurriendo para ello al riego, la fertilización, prácticas de manejo ya cualquier medio de técnico que esté al alcance.

Cada finca se debe considerar como un caso específico, al que se le debe ofrecer una solución técnica y económica particular. Sin embargo, es necesario *considerar las fincas aledañas* de su micro-cuenca, ya que a veces el control del escurrimiento en una finca puede aumentar el problema en otra, aguas abajo.

El plan de conservación a nivel de finca *permite ejecutar con los usuarios* los planes de ordenamiento, manejo, protección y recuperación de aguas y suelos. Por lo que es *más complejo en su ejecución y más largo en su materialización*.

Por su parte, el plan a nivel de cuenca (cuenca, sub-cuenca o micro-cuenca) *formula el proyecto de protección de la cuenca, en forma definitiva*. Con sus diseños, costos y tiempo concretos para su ejecución. Medidas de protección y proyectos que se hacen con fines de:

- a) *Control de las descargas de sedimentos. Control y estabilización de deslizamientos, derrumbes y cárcavas. Encauzamiento, defensas de riberas y limpieza de cauces* que permiten, además, recuperar terrenos cultivables perdidos por la erosión lateral del río. Todo lo cual requiere estudios hidrológicos, hidráulicos, topográficos y diseños estructurales de mayor o menor complejidad.
- b) *Control del escurrimiento superficial*. Haciendo planes y programas para determinar y ejecutar el *plan del uso de los suelos* de la cuenca (bosques, pastos o agricultura). Y, si es necesario, *construir estructuras auxiliares de control* (como diques de retención, presas de regulación y otros) que permitan manejar la escorrentía superficial sub-superficial en el tiempo.

Los beneficios del proyecto son de diversos tipos. “Beneficios físicos”, de los que los más importantes son la reducción de la erosión a límites de erosión geológica, facilitando la sostenibilidad y el control de los sedimentos, que puede lograrse en un 100%. “Beneficios sociales”, destacando la elevación del nivel de vida de la comunidad. Y el mejoramiento del “medio ambiente”. (s/287)

La *ejecución del plan* permitirá, con las acciones e inversiones propuestas (para el período del plan y para su continuación): ordenar el uso del espacio, manejar los recursos naturales renovables en forma integral y sostenida, mantener y mejorar la productividad de los recursos naturales en forma sostenible.

Incrementar la producción agropecuaria y forestal, como consecuencia del mejoramiento en el manejo de los recursos y el uso de tecnologías apropiadas en los cultivos tradicionales, y la introducción de nuevas alternativas productivas. Reducir fuertemente la pérdida de suelos y controlar los sedimentos, el problema principal de la cuenca, que afectan también al embalse de Bao y sobre todo al de Tavera, debido al canal de interconexión que los une. Y una mayor calidad de las fuentes de abastecimiento de agua.

SECTORES MÁS BENEFICIADOS POR EL PLAN DE MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO BAO

A efectos de establecer el *análisis económico y del factor beneficio-coste* del proyecto se incluye un desglose estimativo de la importancia que tiene la cuenca respecto a los sectores de servicios más beneficiados por la misma. Es decir hasta el complejo Bao-Tavera.

1.	30%	Energía.
2.	30%	Ecología y cuidado del bosque y parque nacional.
3.	20%	Desarrollo rural, formación, extensión.
4.	15%	Desarrollo del agro y cultivos específicos.
5.	5%	Potencial turístico.

Costos y financiamiento

El costo total de proyecto asciende a RD\$452.1 MM (US\$36.2 MM), incluyendo los costos de financiamiento. Y los rubros más importantes son las construcciones y mejoras (27.5%), los gastos operacionales (25%) y los salarios y viáticos (15.9%).

Del costo total corresponde un 70% a costo de capital y un 30% a gastos operacionales.

El renglón más importante lo constituye el *manejo y conservación de los recursos naturales*, con US\$20 MM (55.3% del costo total del proyecto). Y dentro de este componente destacan las construcciones y mejoras (32.9%), los gastos operacionales (43.3%), la mano de obra (8.9%) y los materiales e insumos (16.7%).

Los costos del componente *control de sedimentos* suponen US\$3,1 MM (8.7% del costo total del proyecto), considerándose dentro del renglón de construcciones y mejoras.

Los *subcomponentes más importantes* desde el punto de vista de las erogaciones y el enfoque de este estudio son conservación de suelos y aguas (16.8% del costo total), rehabilitación de caminos (5.1%), control de torrentes y cárcavas (3.6%)

COSTOS DEL PROYECTO POR COMPONENTE (a precios de 1993)

Componente	RD\$	US\$
Manejo y conservación de recursos naturales	249,572,754	19,965,820
Control de erosión y manejo sedimentos	39,247,526	3,139,802
Capacitación, extensión y organización	10,932,215	874,577
Mejoramiento de tecnologías	29,508,038	2,360,643
Unidad ejecutora	50,724,700	4,057,976
Total	379,985,233	30,398,818

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

Financiamiento. El BID prometió prestar US\$27.4 MM (el 75.8% de costo de las actividades programadas) y la *contrapartida local* aportará los US\$8.8 MM restantes. Aporte a lo que se dividirá a partes iguales entre los agricultores participantes en el proyecto (US\$4.37 MM, un 49.9% del aporte local) y el Gobierno dominicano (US\$4.39 MM, un 50.1%).

Los aportes del financiamiento externo y del Gobierno dominicano serán más altos en el primer año a fin de cubrir las inversiones iniciales. Mientras que el aporte de los agricultores será más bajo al principio y aumentando a medida que el proyecto les produzca beneficios haciendo más rentable su actividad. (Ver Cuadro 9.2).

El proyecto puede iniciarse de inmediato a través de actividades que no significan grandes desembolsos. Por lo que se recomendó iniciarlo ya, con fondos nacionales, al tiempo que se hacen los trámites del crédito, para evitar una interrupción entre la fase de estudio y su implementación con el consiguiente “olvido” del proyecto.

CUADRO 9.2
TÉRMINOS DEL FINANCIAMIENTO DEL BID

CONCEPTO	OC (Miles de US\$)	FOE (Miles de US\$)
Total financiamiento	2,480.6	24,945.5
Porcentaje del costo total	6.9%	69.0%
Período de desembolso	5 años	5 años
Amortización	20 años	40 años
Período de gracia	5 años	10 años
Interés	Tasas variables	1% durante período de gracia 2% en adelante
Comisión de créditos	1.25% +	0.5% sobre parte no desembolsada 1% del valor de préstamo
Vigilancia y supervisión	1%	Monto del préstamo

EVALUACIÓN DEL PROYECTO

Evaluación Económica

El proyecto puede implementarse en cinco años, siendo en gran parte de tipo forestal. Y sus *beneficios económicos* se consideraron con una proyección de 26 años.

El análisis económico de la *tasa interna de retorno* (TIR) fue de 10.2%¹⁹.

Evaluación impacto ambiental

La evaluación ambiental *estudió todos los componentes del proyecto*²⁰. Y entre ellos los de los recursos hidráulicos y control de erosión y sedimentos con sus proyectos de construcción de presas de torrentes y uso múltiple, defensa de cauce, control de cárcavas y rehabilitación y construcción de caminos vecinales. (Ver cuadro 9.3).

¹⁹ La TIR sin ajustes por valoraciones sociales, alcanza valores de 9.6% a 10.7%. Y el proyecto sería socialmente viable para tasas de preferencia social inter-temporal de hasta 10%. Y la TIR corregida, para incorporar valoraciones sociales, se ubicaba entre 12.7% y 14.5%, sin imputar los beneficios por conservación del suelo. Entre 13.8% y 15.6% cuando tales beneficios eran considerados. Y el proyecto podría ser considerado socialmente aceptable incluso a tasas sociales de descuento de 15%.

²⁰ La evaluación ambiental estudió todos los componentes del proyecto. Para una amplia visión de los impactos positivos y negativos que se prevé se derivarán de la ejecución del Plan de Manejo de la Cuenca de Bao ver BA093-F.2 pp. 268-280.

Entre los impactos ambientales previstos de las diferentes actividades y proyectos del plan, respecto a la red hidrográfica de la cuenca del Bao y su aprovechamiento, cabe destacar los siguientes.

Los impactos positivos han sido *enumerados* ya ampliamente, al hablar de los distintos proyectos.

Los núcleos más beneficiados económicamente son los pobladores de Jánico, San José de las Matas, Juncalito, Las Placetas y Mata Grande. Gran parte de la mano de obra del proyecto será de sus inmediaciones, y un gran porcentaje de sus salarios permanecerá en la zona, repercutiendo en el desarrollo económico de la misma. Por otra parte, la participación en un proyecto como éste les ayudará a desarrollar actitudes y capacidades, que les permitirá afrontar su trabajo y su vida de un modo más adecuados.

Y entre **los impactos negativos** cabe destacar el que podría derivarse del uso *plaguicidas* y *fertilizantes* para el aumento de la producción, pudiendo afectar a la calidad de las aguas y los alimentos, si se usan indiscriminadamente.

El *desmante y movimiento de tierra*, principalmente para obras hidráulicas, que es una fuente importante de sedimentos que deberá controlarse.

La forma de minimizar estos impactos negativos se presentan en el manual de construcción de caminos vecinales y carreteras en zonas frágiles con peligro de erosión ((SEA-SEOPC, 1987). Manual que incluye los posibles impactos ambientales y las medidas para evitar o mitigar estos impactos desde la etapa de estudio y diseño, el proceso constructivo y la etapa de operación y mantenimiento.

CUADRO 9.3
RESUMEN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE ALGUNOS COMPONENTES

Componentes y Actividades	Socioeconómico		Físico		Proyectos con las medidas para prevenir o atenuar los impactos
	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	
1. Componente Manejo de Recursos Naturales					
1.3 Recursos hidráulicos					
1.3.1 Rediseño y finalización acueducto Antonzape	B		I	A	Prever medidas construcción
1.3.2 Rediseño y construcción central Janey	B		I	A	Prever medidas construcción
1.3.3 Finalización hidroeléctrica Baiguaque	B		I	A	Proveer medidas construcción
1.3.4 Finalización acueducto Jánico	B		I	A	Proveer medidas construcción
1.3.5 Rehabilitación est. hidrometeorológica	B		b		
2. Componente Control Erosión y Sedimentos					
2.1 Construcción presas torrentes	B		B		
2.2 Construcción presa usos múltiples	B		B		
2.3 Construcción defensa cauce	B		B		
2.4 Control cárcavas Bao-Tavera	B		B		
2.5 Control cárcavas	B		B		
2.6 Rehabilitación caminos vecinales	B		b	A	Medidas de control previstas

FUENTE: Consorcio.

A - Impacto negativo significativo

B - Impacto positivo significativo a impacto negativo no significativo

b - Impacto positivo no significativo

I - Requieren mayor estudio

Balance general de los beneficios e impactos ambientales del plan

Según la metodología del BID para la evaluación de los impactos ambientales (EIA), el proyecto pudiera clasificarse en la *Categoría 1* de las cuatro contempladas, ya que el plan de manejo trata de mejorar las condiciones ambientales, incentiva la producción, la utilización racional de los recursos naturales e involucra a la comunidad en el proyecto con la previsión de un mejor nivel de vida de los habitantes.

Los recursos de aguas, suelos, bosques y fauna mejorarán en forma significativa lo que producirá un mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de la cuenca. Y sólo en algunas actividades colaterales podrían producirse impactos negativos, para los que se ha previsto medias de control y corrección.

10. INSTITUCIONES QUE OPERAN EN LA ZONA

ÍNDICE

<i>Instituciones que operan en la zona</i>	370
<i>Corporación de la Cuenca de Bao</i>	373

INSTITUCIONES QUE OPERAN EN LA ZONA

No existe una institución única responsable del manejo, conservación y desarrollo de los recursos naturales de la RD, así como de sus cuencas. Tales responsabilidades están dispersas entre varias instituciones, *dificultando la coordinación* entre las entidades involucradas en estos procesos.

En la práctica, *instituciones de los sectores público y privado* participan en la conservación de los recursos naturales y la prevención de la deforestación

Por el sector público destacan la Secretaría de Estado de Agricultura (SEA), la Dirección General Forestal (DGF), la Dirección Nacional de Parques (DNP) y el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI).

Así como la Corporación Dominicana de Electricidad (CDE) y el Instituto Agrario Dominicano (IAD), cuyas actividades están directamente relacionadas con el aprovechamiento y conservación de los recursos naturales. Otras instituciones, como el Banco Agrícola (BAGRICOLA), inciden al otorgar financiamientos para explotaciones agrícolas y ganaderas.

Y existen *instituciones normativas y planificadoras*, respecto a la conservación y reforestación de las Cuencas Hidrográficas, como la Comisión Nacional Técnica Forestal (CONATEF) y la Oficina Nacional de Planificación (ONAPLAN).

Y **por el sector privado**, el Plan Sierra y la Asociación de Desarrollo de San José de Ocoa, entre otras.

Las **posibilidades y limitaciones de las instituciones públicas y privadas** para operar el proyecto, pueden inferirse de sus funciones principales que se resumen a continuación¹:

1) El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI)

- a. *Estudiar, proyectar y programar las obras hidráulicas y energéticas* necesarias para el desarrollo y aprovechamiento integral de las cuencas hidrográficas del país. Con sujeción a los planes nacionales de desarrollo y en coordinación con los organismos encargados de los demás tipos de obras de desarrollo.
- b. *Organizar y manejar la explotación y conservación de los sistemas de riego.*
- c. *Administrar, organizar y reglamentar el aprovechamiento de las aguas nacionales superficiales y subterráneas.* Así como de los trabajos de hidrología en cuencas, álveos de aguas y cauces.
- d. *Intervenir en la conservación y protección de las corrientes, lagos y lagunas, así como de las cuencas alimentadoras y obras de corrección torrencial,* de las cuencas hidráulicas, vasos de almacén amiento y manantiales.
- e. *Realizar los estudios geológicos relacionados con los aprovechamientos de los recursos hidráulicos.*

2) **La Secretaría de Estado de Agricultura (SEA)**, a través de su **Proyecto Río Bao/SEA**, tiene su radio de acción en la parte baja y media de la cuenca del Bao. Principalmente en las áreas de cultivos, que son las de mayor producción de sedimentos. El proyecto nació del programa de “Manejo de Cuencas y Conservación de Suelos” de la SEA siendo implementado por el *Depto. de Tierras y Aguas* (DTA-SEA)². Tiene una *Oficina Regional para la cuenca del Bao en Jánico*³.

1 Funciones de las instituciones de los sectores público y privado. **Recogemos las más relevantes para el objetivo de este libro.**

2 *Departamento de Tierras y Aguas de la SEA.* Es un organismo ejecutivo creado para proveer los servicios requeridos por la comunidad en materia de uso racional y protección de los recursos tierras y aguas, con relación a la conservación de los recursos renovables del país y más específicamente a la producción agropecuaria. Fue creado en abril de 1978 y depende de la Subsecretaría de Recursos Naturales.

Desarrolló una serie de acciones en la cuenca del río Bao centralizadas en el área de Pedregal, Jánico, entre los años 1979 y 1986.

3 En la cuenca del río Bao se han realizado una *gran cantidad de prácticas de manejo y conservación de suelos y aguas* por el Servicio de Conservación de Suelos de la SEA. Trabajos que supusieron, dentro del proyecto Bao, la realización de 304 planes de conservación de suelos y aguas a nivel de fincas en un período de cuatro años.

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS (INDRHI)

Estructura Orgánica - 9 Departamentos:

Hidrología, Planificación Proyectos	Control de Proyectos Distritos de Riego Pequeñas Presas	Equipo y Transportación Financiero Administrativo
---	---	---

Y su *Programa Nacional de Manejo de Cuencas* desarrolla:

Plan de Ordenamiento Recursos Hídricos	Fortalecimiento Institucional
Red Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas	Agricultura Sostenible
Plan Manejo Forestal Cuenca Río Mao	

Aspectos Jurídicos

La base legal del INDRHI está básicamente en las leyes siguientes:

- Ley No. 6, del 8 de septiembre de 1965, que crea el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, (INDRHI), modificado por la Ley No. 591, del 2 de julio de 1970, que agrega un párrafo al Artículo No. 12, y el Reglamento 1558, del 29 de junio del 1966, para la aplicación de esa ley.
- Ley No. 5852, del 29 de marzo de 1962, sobre dominio de aguas territoriales y distribución de aguas públicas, modificada por la Ley 436 y la No. 221, de fecha 10 de octubre de 1964 y 25 de noviembre de 1967, respectivamente.

Responsabilidad sobre los recursos naturales renovables

Tiene la responsabilidad del *manejo, administración y distribución del recurso agua* almacenada, mediante presas, o canalizadas, aguas con las que riega los terrenos explotados por agricultores. Y administra la propiedad de *las presas y de los canales de riego*. (179)

Su meta es la conservación de los recursos naturales renovables, tierras y aguas, de dicha cuenca. Y sus dos objetivos básicos son: la elaboración de un plan de manejo de la cuenca y organización de un servicio de conservación de suelos y aguas. (CID-J&M).

Y entre las funciones de más generales de la SEA están:

- a. *Formular y dirigir la política agropecuaria del país*, de acuerdo con los planes generales de desarrollo.
- b. *Coordinar los programas de las entidades relacionadas* y vinculadas a esta Secretaría.

3) **La Dirección General Forestal (DGF) o “Foresta”** fue creada en 1962 y adscrita a la Secretaría de Estado de las Fuerzas Armadas en 1967, mediante la Ley No. 206, que prohibió la tala de bosques. Dispone de un *distrito en San José de Las Matas* y un *sub-distrito en Jánico*, en la cuenca del Río Bao (31). Entre sus funciones están:

- a. *Velar por la conservación y reforestación de las cuencas hidrográficas*. Y, en general, por la conservación, restauración, desarrollo y utilización de la *vegetación forestal*.
- b. *Impedir la contaminación de ríos, arroyos y manantiales* por descarga de desechos y desperdicios de parte de industrias instaladas en sus proximidades.
- c. *Evitar el desmonte, tala y quema, así como cultivos, en las riberas de los ríos, arroyos y manantiales*⁴.

4 Ver “Organigrama”: Fig. 10.1.

4) La Oficina Nacional de Planificación (ONAPLAN)

Dirigir el proceso planificador de la RD en coordinación con todas las demás instituciones del Estado.

5) La Dirección Nacional de Parques (DNP), creada en 1974 y que funciona desde 1976, depende de la Presidencia de la República. Tiene bajo su responsabilidad el *Parque Nacional J. Armando Bermúdez*, en la parte más alta de la cuenca del río Bao, teniendo refugios para a visitantes. El Parque ocupa un 40% de dicha cuenca.

Sus actividades son básicamente de vigilancia y protección del parque. Y entre sus funciones están:

- a. *Conservar, desarrollar y administrar el patrimonio natural del país.* Ordenar y cuidar el sistema nacional de parques y reservas equivalentes.
- b. Promover, y apoyar acciones que tiendan a salvaguardar la flora y fauna circunscrita de sus parques nacionales.
- c. Y desde 1989 promueve la elaboración del *Plan de Manejo para el Parque Nacional*, que se encuentra en fase final de revisión.

6) La Corporación Dominicana de Electricidad (CDE)

Producción, transmisión, distribución y venta de la energía eléctrica (incluida la hidroeléctrica), a nivel nacional.

7) La Comisión Nacional Técnica Forestal (CONATEF)

- a. *Trazar las normas sobre la formación, reposición y explotación de los bosques*, en coordinación con la DGF y la SEA.
- b. Colaborar a la *preservación de los recursos agua, suelo, flora y fauna*.

El Plan Sierra nació en 1979, con la participación activa del ISA, de grupos progresistas de Santiago y la Iglesia, teniendo respaldo estatal en algunas épocas. Es una institución que dio buenos frutos y a la que hay que tener en cuenta en el futuro.

Su área de trabajo comprende *unos* 1,800 km², abarcando gran parte de las sub-cuencas de los ríos *Bao, Amina, Inoa y Mao*, y un tercio está en la cuenca del río Bao. Desde su inicio concentró su labor básicamente en la parte media y alta de la cuenca, y más concretamente en tres áreas o "polos de desarrollo" de la cuenca del Bao: *Placetas, Carrizal y Juncalito*. Y sirve a 16,000 familias (115,000 hab.) de los cuales, 6,000 familias están en la cuenca del Bao. **(KDA_{nl}, 100-103)**

Sus actividades de extensión agraria y conservación están *orientadas al pequeño y mediano agricultor para la protección de los recursos renovables*, enfatizando el aprovechamiento racional de los recursos naturales y fomento de los recursos forestales⁵.

En la cuenca de Bao tienen *diez técnicos* agrícolas y tres promotores sociales, teniendo sedes satélites por toda el área. (30) Entre sus *objetivos* están:

- a. Control de la erosión, mejoramiento de los cultivos, y del nivel de vida de los habitantes pobres de la sierra. **(CGD-J&M, 21 y 33)**
- b. Manejo de cultivos, conservación y reforestación de las cuencas hidrográficas del área: ríos Bao, Inoa, Amina y Mao (municipios de San José de Las Matas, Jánico y Monción).
- c. Otorgar créditos para agricultores con predios agrícolas en el ámbito del Plan, en coherencia con el mismo. (63)

Varias instituciones han realizado *inversiones en la cuenca del Bao*, en el Manejo y conservación de sus Recursos Naturales (RD\$36.2 M). Cantidad considerada insuficiente en relación con la magnitud del problema.

Por otra parte, *son muy débiles las estructuras existentes para tales realizaciones* y para la ejecución del plan de manejo propuesto.

⁵ Las labores y las prácticas realizadas por el Plan Sierra han consistido principalmente en terrazas de bancos, acequias de laderas, barreras vivas, muertas, canales vegetados, incorporación de residuos y huertos en bancales.

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

Por lo que se recomendó *el fortalecimiento institucional, creando una entidad ejecutora* que permita una eficaz planificación, seguimiento y control de las acciones a realizarse. Así como un seguimiento técnico-administrativo-financiero al servicio del proyecto. Entidad con autonomía y capacidad ejecutora, capaz de implementar el ordenamiento e inversión requerida por él. Plan de manejo de la cuenca de Bao, en su rica complejidad interdisciplinar.

CORPORACIÓN DE LA CUENCA DE BAO

CREACIÓN DE UNA UNIDAD EJECUTORA

Se propuso la creación de la Corporación para la Conservación y Manejo de los Recursos Naturales de la Cuenca del Bao, como responsable de la ejecución del proyecto y de su continuación y optimización en el futuro. Y se sugirió que radique en Jánico, teniendo una oficina de enlace institucional en Santo Domingo⁶.

Entidad *sin fines de lucro*, estaría constituida en forma conjunta por el Estado, por su condición de garante del crédito y responsable de su ejecución ante los organismos nacionales e internacionales, y las asociaciones de agricultores relacionadas con el desarrollo del proyecto, estando regida por normas de derecho similares a las que regulan las operaciones de las organizaciones mixtas.

Se recomendó que estuviera ligada estructuralmente el Instituto Nacional de Recursos Hídricos (INDRHI), por ser el organismo oficial responsable del manejo y aprovechamiento de las cuencas hidrográficas del país.

Y para la ejecución del proyecto se recomendó *una estructura orgánica en tres niveles*. Nivel directivo, que será la máxima autoridad y dirigirá la Corporación. Unidad ejecutiva, constituida por el director ejecutivo y un equipo superior asistido por un comité técnico. Y las unidades operativas del proyecto, que actuarán tanto a nivel central como en las comunidades.

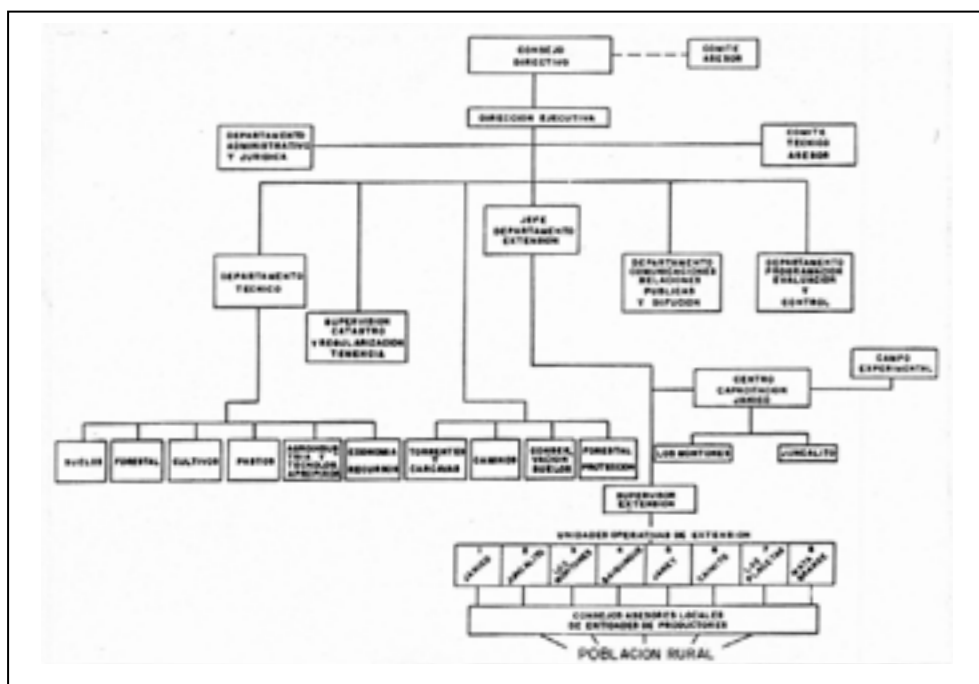


Fig. 10.1 ORGANIGRAMA DE LA CORPORACIÓN DE BAO

6 *Corporación de Bao*. Ver Fig. 10.1.

Alternativas gerenciales de solución

Las alternativas gerenciales de solución son la clave para el éxito de un plan de manejo de cuencas como la del río Bao y, al mismo tiempo, *las más difíciles de encontrar y aplicar*. No es la falta de conocimiento técnico lo que impide ejecutar los planes, sino la falta de enfoque gerencial que impide aplicar las técnicas.

Las alternativas gerenciales **deben superar restricciones** de tipo económico financiero, institucional-administrativo, político-legal, sociales-culturales. A continuación se indican algunos métodos sugeridos para superar estas restricciones encontrando soluciones a las mismas:

1) *Justificar económica y financieramente el manejo de la cuenca* desde los beneficios y los costos que supone la conservación y protección, haciendo ver su rentabilidad. Incluyendo los beneficios que produce dentro y fuera de la cuenca. Incorporar los costos del manejo como parte integral del aprovechamiento de los recursos hídricos de la cuenca. Y haciendo notar los costos futuros que implicaría la no-conservación, de no implementarse el proyecto.

2) Establecer una *organización y coordinación inter-institucional y administrativa que permita ejecutar los planes de manejo*. En RD diversas instituciones inciden en el uso del suelo y los trabajos de conservación (aspectos forestales, protección de parques, crédito agrícola y manejo del agua), pero ninguna es responsable última o principal del sector. Por ello se recomendó el establecimiento de la Corporación de Bao, con suficiente autonomía administrativa y fluidez de fondos.

3) Se necesita *conseguir el apoyo político-legal* concordante con la importancia de la conservación del agua y el suelo para el país, para formular y hacer ejecutar leyes que faciliten y respalden dicho manejo. Lo que implica tener *relaciones* con los políticos de todos los partidos, para venderles el proyecto para lograr su apoyo real al mismo.

4) Un adecuado *programa de extensión y capacitación sobre el plan de manejo de la cuenca* es un factor importante para ayudar a superar las restricciones socio-culturales que haya sobre el mismo. Tanto por parte de los funcionarios implicados, como de los usuarios del mismo y los pobladores de la zona. Principalmente a través de las asociaciones de productores agrícolas, forestales y ganaderos y ayudados por áreas demostrativas de conservación de los suelos, manejo de pastos y bosques, y otras prácticas recomendadas y ejecutadas por el plan.

Acciones relativas a la implementación del proyecto a ser ejecutadas o promovidas por la Corporación

- Ejecutar el proyecto.
- Actualizar los estudios, diagnósticos e inventaros que determinen los potenciales de producción de los recursos existentes.
- Desarrollar programas y acciones tendientes a preservar y acrecentar los recursos naturales renovables disponibles.
- Identificar proyectos de conservación, uso y aprovechamiento óptimo de los recursos naturales renovables y conseguir apoyo técnico y financiero para llevarlos a cabo.
- Ejecutar por sí o mediante subcontratación con terceros, los proyectos elaborados.
- Investigar y proponer soluciones alternativas a los problemas de la cuenca.
- Controlar técnicamente la calidad de la ejecución y el avance de los proyectos contratados con terceros.
- Desarrollar, directa o indirectamente, acciones educativas en relación a la conservación de los recursos naturales renovables y la calidad del medio ambiente.
- Fiscalizar el cumplimiento de las normas que se dicten para la preservación de los recursos naturales renovables.
- Colaborar con el Estado en la fiscalización del cumplimiento de las normas legales destinadas a preservar y conservar los recursos naturales renovables.

Consejo Directivo de la Corporación de Bao:

Miembros sugeridos

Se recomendó que *el Consejo Directivo de la Corporación* sea mixto, estando integrado, por una parte, por las siguientes instituciones oficiales (6):

- Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI). Considerado el organismo oficial más afín a los objetivos del proyecto, fue recomendado para presidir la Corporación.
- Dirección General de Foresta (DGF);
- Secretaría de Estado de Agricultura, a través de la Subsecretaría de Estado de Recursos Naturales (SURENA);
- Oficina Nacional de Planificación (ONAPLAN);
- Dirección Nacional de Parques (DNP).
- Comisión Nacional Técnica Forestal (CONATEF).

Y por representantes del sector privado (4): Tres representantes de las principales organizaciones de productores agropecuarios (agricultura - foresta y ganadería) de la cuenca del Bao, y un representante del Plan Sierra.

Y se sugirió la inclusión de un *Comité Asesor*.

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE

<i>Utilizada en Capítulos 1 – 5</i>	<i>378</i>
<i>Utilizada en Capítulos 6 – 10</i>	<i>387</i>
<i>No incorporada y que “ampliaría y enriquecería” lo ya redactado</i>	<i>390</i>
<i>No encontrada</i>	<i>391</i>

Capítulo 1 - INTRODUCCIÓN

KOKUSAI-DESAGRO - Estudio de Factibilidad del Plan de Manejo y Conservación de la sub-cuenca del Río Bao:

- **Informe de Factibilidad.** Sep. 1993. 297p
KDIF KD-IF
- **Informe de Factibilidad: Mapas.** Sep. 1993 (19 hojas)
KDIFm KD-IFm
- **Anexo 1: Informe de la Fase I: Análisis Sectorial.**
Versión Fase III: Sep. 1993
KDAN1 KD-AN1
- **Anexo 2: Desarrollo Hidráulico.**
Versión Fase III: Sept. 1993. 128 pp.
KDAN2 KD-AN2
- **Anexo 7: Control de Sedimentos.**
 - a. *Determinación de la Sedimentación en el Embalse de Bao.* (Takaskhige Kimura et al). Sept. 1991. 70p.
KDAN7s KD-AN7-se
 - b. *Control de Torrentes y Cárcavas. Rehabilitación de Caminos.* Septiembre, 1993.
KDAN7 KD-AN7-to
- **Anexo 11: Estudio de Suelos a Nivel Semidetallado.** Sept 1993
KDAN11 KD-AN11

CID - J&M - Estudio de Factibilidad del Plan de Manejo y Conservación de la Sub-cuenca Hidrográfica del Río Bao.

CID-J&M CID-J&M

FUENTE, Santiago de la - **Geografía Dominicana** Santo Domingo, 1976

SFGD FUENTE

Capítulo 2 - CLIMA

DTA - **Intensidades máximas y erosividad de las lluvias en la Rep. Dominicana: Información y Procedimientos.** Santo Domingo: TICA - TJSTDRHI. Diciembre 1982.

LLMA DTA

FEBRILLET, José F. - **Experiencias en la Hidrología de la RD.** Santo Domingo. 1985.

EXP FEBRILLET-Exp

FEBRILLET, José F. - **La Hidrología en el INDRHI.** Santo Domingo. 1985.

HIND1 FEBRILLET-Hidro

FEBRILLET, José F. (et al). - **Instrumentación y Función del INDRHI en Agro-climatología.** San Cristóbal. Octubre, 1985.

IFIA FEBRILLET-Ins

FEBRILLET, José F. - ABINADER, Jorge R. - **David, Federico y la Hidrología.** 1980.

DAFE FEBRILLET-ABINADER

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

FEBRILLET, José F. - MARTÍNEZ-SCARDINE, Epifanio. - **Descripción de Parámetros Hidrometeorológicos que integran la Red Climática, Hidrométrica e Hidrogeológica.** Santo Domingo. INDRHI sf.

PARA

FEBRILLET-MARTÍNEZ S

GONZÁLEZ V., Aristóteles - **Huracán David en la RD, presente y antecedentes.**

DA

GONZÁLEZ

INDRHI - **Informe sobre el Departamento de Hidrología.** Santo Domingo. 1990.

IDH

INDRHI

KELM, H. - **Información sobre el Inventario de las Estaciones Hidrológicas y Meteorológicas a nivel Nacional.** Santo Domingo: GTZ - INDRHI. Julio 1988

IEHMN

KELM

KOKUSAI-DESAGRO - **Estudio de Factibilidad del Plan de Manejo y Conservación de la sub-cuenca del Río Bao:**

- **Informe de Factibilidad.** Sep. 1993. 297p

KDIF

KD-IF

- **Anexo 1: Informe de la Fase I: Análisis Sectorial.**

Versión Fase III: Sep. 1993

KDAN1

KD-AN1

- **Anexo 2: Desarrollo Hidráulico.**

Versión Fase III: Sept. 1993. 128 pp.

KDAN2

KD-AN2

- **Anexo 7: Control de Sedimentos.**

Determinación de la Sedimentación en el Embalse de Bao. (Takaskhige Kimura et al).
Sept. 1991. 70p.

KDAN7s

KD-AN7-se

LLAMAS, José - **Informe de la Misión efectuada en Santo Domingo, Rep. Dominicana, del 2 de Julio al 20 de Agosto de 1990.** Santo Domingo: GTZ - INDRHI. Agosto 1990.

LLA

LLAMAS-Inf

LLAMAS, José - **Planificación de la Red Pluviométrica de la RD (Informe GTZ No 53).**

Santo Domingo: INDRHI Diciembre 1990.

RPLU

LLAMAS-Pla

LLAMAS, José (et al) - **Atlas de Lluvias Máximas en la Rep. Dominicana. (Análisis regional de lluvias máximas y Modelo de frecuencias pluviométricas).** Santo Domingo: INDRHI GTZ. Enero 1993.

ALLM

LLAMAS-At

MENDOZA Y ARMENTEROS - **Estudio Hidráulico del río Yaque del Norte y sus Afluentes Jimenoa, Bao y Mao: Memoria.** Santo Domingo. 1956.

YNEHM

MENDAR-Eh

NOUVELOT, Jean-François - **Diseño de la Red Básica de Estaciones Hidrométricas en la RD.**

Lyon: OMM - INDRHI. Diciembre 1988.

NOU2

NOUVELOT-88

NOUVELOT, Jean-François - RASSAM, Jean Claude - **Diseño de la Red Hidrométrica Básica de la RD.**
 OMM - INDRHI 1990.

NOU1

NOUVELOT-RASSAM.90

OELSNER Jurgen - **Cibao Occidental: Deducción y Análisis de Series Históricas de Caudales.**
 Santo Domingo: INDRHI - OEA Mayo 1980.

CIOC

OELSNER

OMM - **Agrometeorología, Hidrometeorología, Previsión Hidrológica:**
Conclusiones y Recomendaciones del Proyecto. (Informe para el GORD). 1986.

OMM

OMM

REICHE, Hans - **Recomendaciones para la Observación y el Mantenimiento de Estaciones Hidrométricas.** (Informe GTZ 029). Sept. 1989.

OMEHD

REICHE-Reco

REICHE, Hans - **Libro Básico para Estaciones Hidrométricas.** (Informe GTZ 033). Santo Domingo: INDREOL Diciembre 1989.

LBEHD

REICHE-Lib

RICHARDSON, Frank - **Informe Meteorológico y Ciclonología Dominicana.** (en CDE Estudio de Factibilidad Tavera - Bao: Tomo III-3. Santo Domingo: Dic. 1972).

CD3-3

CDE III-3

ROUSSEL, Jean Marc - **Agrometeorología, Hidrometeorología y Previsión Hidrológica.** (Informe Misión) 1985.

ROU1

ROUSSEL

SALAS, José D. - **Análisis de situación y recomendaciones para mejorar la eficiencia del servicio de la Información Hidrológica del INDRHI.** 1980.

A1HI

SALAS

SELLES, Henri - **Estudio sobre la Rehabilitación y Ampliación de la Red hidrometeorológica e Instalación de una Red de Teletransmisión para el Control de las Crecidas y la Operación del Embalse Tavera - Bao, en las Cuencas de los ríos Yaque del Norte y Bao.** (en CDE - Estudio de Factibilidad Tavera- Bao. Tomo III-6. Santo Domingo: Dic. 1972).

CD3-6

CDE III-6

SOGREAH - **Estudios para el Desarrollo Múltiple de las Cuencas de los ríos Yaque del Norte y Yaque del Sur: Reporte Final. Vol II. C. Características Hidrológicas.** Grenoble - Francia. Marzo 1968.

YNYSSO

SOGREAH-II

Capítulo 3 - RECURSOS HÍDRICOS

CID - J&M - **Estudio de Factibilidad del Plan de Manejo y Conservación de la Sub-cuenca Hidrográfica del Río Bao.**

CID-J&M

CID-J&M

EYER - **Recursos Hídricos de la región del Cibao: Análisis de Alternativas.** 3 Vols. Madrid, INDRHI - Ministerio de AA.EE de España. 1981.

EYER

EYER

KOKUSAI-DESAGRO - Estudio de Factibilidad del Plan de Manejo y Conservación de la sub-cuenca del Río Bao:

- **Informe de Factibilidad.** Sep. 1993. 297p
KDIF KD-IF
- **Informe de Factibilidad: Mapas.** Sep. 1993 (19 hojas)
KDIFm KD-IFm
- **Anexo 1: Informe de la Fase I: Análisis Sectorial.**
Versión Fase III: Sep. 1993
KDAN1 KD-AN1
- **Anexo 2: Desarrollo Hidráulico.**
 - a. **Contenido del Informe del Experto** (Guillermo Numhauser). Jun 1992.
KD-AN2-exp
 - b. **Informe Complementario al Informe del Experto** (Héctor Venegas R.) Jul. 1992.
KD-AN2-coma
 - c. **Informe Complementario al Informe del Experto** (Héctor Venegas R.)
Versión Fase III: Sept. 1993. 128 pp. KD-AN2-comb
- **Anexo 7: Control de Sedimentos.**
 - a. *Determinación de la Sedimentación en el Embalse de Bao.* (Takaskhige Kimura et al). Sept. 1991. 70p.
KDAN7s KD-AN7-se
 - b. *Control de Torrentes y Cárcavas. Rehabilitación de Caminos.* Septiembre, 1993.
KDAN7 KD-AN7-to

Capítulo 4 - DEMANDA Y DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS

BJD - ATF - **Proyecto de Rehabilitación y Ampliación del Distrito de Riego del Valle del río Yaque del Norte: Informe Final Convenios de Préstamos.** INDRHI. Santo Domingo, Enero 1983.
BID-AIF

BIRF - **Yaque del Norte Irrigation Project.** Dominican Republic. August 18, 1972.
BIRF

BIRF - ATF - **Proyecto de Riego del Yaque Norte, RD.** 22 Diciembre de 1972.
BIRF-AIF

CAASD - **Proyecto Cibao Central.**

CASTRO CATRAIN, Francisco - **Boceto Historia del Desarrollo de los Recursos Hidráulicos en República Dominicana.** CASTRO

CDE - **Estudio de Factibilidad Tavera - Bao.** 3 Tomos. Santo Domingo. 1972.
 I-F - Río Yaque del Norte: Estudio del área de influencia de la presa de Tavera. CDE I-F
 I-G - Abastecimiento de la ciudad de Santiago con agua potable. CDE I-G
 I-M - Factibilidad Económica y Financiera CDE I-M
 III-7 - Informe sobre la operación del Proyecto H.E. Tavera, bajo las condiciones de satisfacer las demandas de agua del Distrito de Riego. CDE III-7
 III-5 - Evaluación Económica del Proyecto Tavera-Bao (Robert L. Berger). CDE III-5

III-6 - Estudio sobre la rehabilitación y ampliación de la Red Hidrometeorológica, e instalación de una Red de Teletransmisión para el control de las Crecidas y la Operación del embalse Tavera-Bao, en las cuencas de los ríos Yaque del Norte y Bao. **CDE III-6**

CIEPS - **RD: Evaluación Preliminar de las Posibilidades de Desarrollo Eléctrico y de Riego.** BID. México, Marzo de 1962. **CIEPS-62**

CIEPS - **Río Yaque del Norte: Estudio del Área de Influencia de la Presa de Tavera.** INDRHI. 6 tomos. México. Noviembre, 1970.

I Informe General.	CIEPS-I
II Anexo A Estudio Agrológico (Texto).	CIEPS-II
V Anexo C: Estudio Hidrológico.	CIEPS-IV
VI Anexo D: Obras de Ingeniería (Mapas).	CIEPS-VI

COMISIÓN DEL ACUEDUCTO DEL CIBAO CENTRAL - **Informe de Evaluación de las ofertas recibidas para la Construcción Acueducto Cibao Central.** 1992. **COMISIÓN**

COSEISA - **Simulación de la operación integrada del Sistema Hidráulico de la Cuenca del Río Yaque del Norte: A. Informe sobre los aprovechamientos hidroeléctricos en el PRYN, Saltos de Navarrete, Jicomé y Guayacanes.** Septiembre, 1993. **COSEISA**

HERRERA P., Augusto - **Acueducto Cibao Central.** 1992. **HERRERA**

IICA - **Proyecto de Desarrollo Agrícola en Tres Áreas Prioritarias bajo Riego.** 18 Vols. Santo Domingo, RD. Diciembre de 1988.

I Resumen del Proyecto.	IICA-I
III El Área del Proyecto.	IICA-III
VIII Anexo Técnico II. 1: Subproyecto Operación y Conservación. Obras faltantes, Tarifas y Presupuestos	IICA-VIII

ILACO - **Reorganización de Operación y Mantenimiento, Proyecto de Riego de Tavera.** Detallado para el área del contrato No. 1 Fase 1. Informe Preliminar. Noviembre, 1975. **ILACO-75**

ILACO - **Proyecto de Riego de Tavera: Costo de Riego y régimen de Tarifas.** Enero, 1976. **ILACO-76**

ILACO - **Cobrar el servicio de Riego: cómo y cuando. (Proyecto de Riego Yaque del Norte).** Mayo, 1977. **ILACO-77**

ILACO - **Estudio Tarifa de Riego del Proyecto Yaque Norte.** 1980. **ILACO-80**

JORGE P., Marcelo - **Informe del Ing. Marcelo Jorge Pérez, miembro de la comisión designada por el Decreto 94-92 para definir la Alternativa más conveniente entre gravedad o bombeo para abastecer con agua para consumo humano la población del Cibao Central.** Santo Domingo, Abril 28, 1992. **JORGE, M**

JORGE P., Marcelo-JORGE M., Jorge - **Comparación de las Alternativas propuestas para el Acueducto de Santiago, Moca y zonas aledañas.** Marzo 1992. **JORGE, M. - JORGE, I**

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

KOKUSAI-DESAGRO - **Estudio de Factibilidad del Plan de Manejo y Conservación de la sub-cuenca del Río Bao:**

- **Informe de Factibilidad.** Sep. 1993. 297p
KDIF KD-IF
- **Informe de Factibilidad: Mapas.** Sep. 1993 (19 hojas)
KDIFm KD-IFm
- **Anexo 1: Informe de la Fase I: Análisis Sectorial.**
Versión Fase III: Sep. 1993
KDAN1 KD-AN1
- **Anexo 2: Desarrollo Hidráulico.**
 - a. **Contenido del Informe del Experto** (Guillermo Numhauser). Jun 1992.
KD-AN2-exp
 - b. **Informe Complementario al Informe del Experto** (Héctor Venegas R.) Jul. 1992.
KD-AN2-coma
 - c. **Informe Complementario al Informe del Experto** (Héctor Venegas R.)
Versión Fase III: Sept. 1993. 128 pp.
KD-AN2-comb

MANN, J.L. - **Informe sobre el Proyecto de Irrigación de la Provincia de Monte Cristi.** (1909) en Memoria que al Ciudadano Presidente de la República presenta el Secretario de Estado de Fomento y Comunicaciones. Santo Domingo. 1910.
MANN

MENDOZA-ARMENTEROS - **Estudio sobre las posibilidades de Incrementar en 30,000ha los riegos del río Yaque del Norte, mediante la construcción de embalses reguladores.** Santo Domingo. 1956.
MENDAR

RAMÍREZ, Orlando - **Distritos de Riego de la RD.** INDRHI PROMAF. Santo Domingo. Septiembre 1994.
RAMÍREZ

RODRÍGUEZ F., Juan Tomás (et al) - **"Historia de los Acueductos en Rep. Dominicana"** en *Presas y Sistemas Hidráulicos en República Dominicana*. UASD: Ing. Civil. Santo Domingo. 1979.
RODRÍGUEZ

SEA - **Diagnóstico del Proyecto de Riego Yaque del Norte PRYN.** Santo Domingo RD. Agosto 1980.
SEA

SOGREAH - **Estudios para el Desarrollo Múltiple de las Cuencas de los ríos Yaque del Norte y Yaque del Sur: Reporte Final.** 7 Vols. Grenoble - Francia. Marzo 1968.

- **1. Resumen y Conclusiones.** 28p. SOGREAH-1
- **2. Estudios Preliminares.** 77p. SOGREAH-2
- **4. Estudio de Viabilidad para un primer desarrollo de la Cuenca del Yaque del Norte.** 185p. SOGREAH-4

TAHAL - **Plan Nacional de Investigación, Aprovechamiento y Control de Aguas Subterráneas (PLANIACAS).** 7 Vols. BID - INDRHI. Santo Domingo, Abril de 1983.

Vol. I - Resumen General. TAHAL-I
Vol. III - Geología e Hidrogeología. Primera parte TAHAL-III
Vol. IV - Geología e Hidrogeología. Segunda parte TAHAL-IV
Vol. VII - Planificación. TAHAL-VII

Capítulo 5 - PROYECTO BAO

BRENES M., Eduardo - **Síntesis de la labor efectuada con el Equipo de Reubicación de Poblaciones de la CDE de Bao-López del 18 al 29 de Marzo de 1979.**

EBM

BRENES

CDE - **Complejo hidroeléctrico Tavera, Tavera-Bao, López-Angostura.** Santo Domingo. 1984.

BCOMTB-1

CDE-COM

ESPINAL, Miguel - **Batimetría Embalse de Tavera.** Santo Domingo: INDRHI. Feb. 1993.

BBATA

ESPINAL

HARZA - **Proyecto Tavera-Bao: Informe Suplementario de Factibilidad.** Santo Domingo: CDE. Abr. 1976.

BTBHI-1

HARZA-ISF

HARZA - **Proyecto Tavera-Bao. Informe Suplementario de Factibilidad: Apéndices.** Santo Domingo: CDE, Abr. 1976.

BTBHIA-1

HARZA-ISFA

HARZA - **Proyecto Tavera-Bao: Informe Final de Diseño y Construcción.** Santo Domingo: CDE. Jun. 1982.

BTBHFR-0

HARZA-IF

HARZA - **Proyecto Tavera-Bao: Manual de Operación y Mantenimiento.** Santo Domingo: CDE. Agosto 1981.

HARZA-PC

HARZA - **Proyecto Tavera-Bao: Manual de Operación y Mantenimiento.** Santo Domingo: CDE. Agosto 1981.

I - Operación del Embalse, Canal de Interconexión, Cauce de Avenidas

BTBOM1-I

HARZA-MOM I

II - Sistemas de Instrumentación para presa y dique

BTBOM1-II

HARZA-MOM II

III - Válvulas y Compuertas. Toma de energía

BTBOM1-III

HARZA-MOM III

HYDROCOMP - **Operation of the Yaque-Bao Project: Final Report.** CDE. California, June 1980.

HYDROCOMP

IAD-CDE - **Convenio entre e IAD y la CDE para la ejecución del "Proyecto de Reubicación Villa Bao" para las familias afectadas por la construcción de la Presa de Bao.** 17 Ago. 1981.

IAD-CDE

IAD-CDE

KOKUSAI-DESAGRO - **Estudio de Factibilidad del Plan de Manejo y Conservación de la sub-cuenca del Río Bao:**

- **Anexo 1: Informe de la Fase I: Análisis Sectorial.**

Versión Fase III: Sep. 1993

KDAN1

KD-AN1

- **Anexo 2: Desarrollo Hidráulico.**

a. **Contenido del Informe del Experto** (Guillermo Numhauser). Jun 1992.

KD-AN2-exp

b. **Informe Complementario al Informe del Experto** (Héctor Venegas R.) Jul. 1992.

KD-AN2-coma

c. Informe Complementario al Informe del Experto (Héctor Venegas R.)
Versión Fase III: Sept. 1993. 128 pp.

• **Anexo 7: Control de Sedimentos.**

a. Determinación de la Sedimentación en el Embalse de Bao. (Takaskhige Kimura et al). Sept. 1991. 70p.

KDAN7s

KD-AN7-se

b. Control de Torrentes y Cárcavas. Rehabilitación de Caminos. Septiembre, 1993.

KDAN7

KD-AN7-to

LAHMEYER - **Estudio de Factibilidad del Proyecto Múltiple de Tavera.** Frankfurt/Main (Alemania), 30 de Junio de 1967.

LAHMEYER-lata

LAHMEYER - **Proyecto múltiple Río Jagua/Río Bao: Estudio de Pre-inversión.** INDRHI Frankfurt/Main (Alemania), Dic 1967 (Dic 1967 en portada vs abril 1968 al final del estudio).

LAJABA

LAHMEYER-jaba

MARTÍNEZ, José A. y VICIOSO, Ángel F. - **Informe del Reconocimiento de las Zonas de Las Charcas, el Pastor y La Canela, en la Provincia de Santiago.**

MV

MARTÍNEZ-VICIOSO

MENDOZA Y ARMENTEROS - **Estudio Hidráulico del río Yaque del Norte y sus Afluentes Jimenoa, Bao y Mao: Memoria, 39p.** Santo Domingo. 1956.

YNEHM

MENDAR-Ehm

• **Anexos (7).**

MENDAR-Ehman

• **Estudio Geológico. 62 p.**

YNEH-EG

MENDAR-eg

• **Estudio Geológico: Gráficos. 11 figs.**

MENDAR-egg

• **Río Bao: Plano topográfico y perfil longitudinal. 23 hojas.**

MENDAR-bpl

• **Río Yaque del Norte: Plano topográfico (esc 1:2,000). En 2 vols: 61 hojas.**

MENDAR-ynpt

• **Río Yaque del Norte: Perfil longitudinal. 21 hojas.**

MENDAR-ynpl

MENDOZA Y ARMENTEROS - CONCRETERA DOMINICANA CxA - **Proyecto definitivo del Aprovechamiento Múltiple del río Yaque del Norte, Sitio de Tavera.** Santo Domingo, 1959.

• **Memoria. Oct. 1959. 306 pp.**

MENDAR-tm

• **Anexos. 4 partes en 3 vols.**

MENDAR-tan

RAMÍREZ P., Franklin - **Manual de Operación del Sistema Tavera-Bao. Operación del Embalse.** Santo Domingo. CDE: DDH.

II A: Evaluación de Aportes. Mayo, 1984.

BTBOMA

RAMÍREZ-IIA

II B: Obras de Descarga.

BTBOMB

RAMÍREZ-IIB

II C: Operación en época normal. Marzo, 1984.

BTBOMC

RAMÍREZ-IIC

II D: Operación en crecidas. Enero, 1985.
BTBOMD

RAMÍREZ-IID

RODRÍGUEZ, JUAN T. (et al) - Presas y Sistemas Hidráulicos en República Dominicana. 1979.
PRERD

RODRÍGUEZ

SÁNCHEZ CÓRDOVA, René - Informe a la CDE acerca de: Problema reubicación familias campesinas residentes en el área de trabajo del canal de intercomunicación Tavera-Bao y en la zona del futuro embalse de López.
SC

S. CÓRDOVA

SOGREAH - Estudios para el Desarrollo Múltiple de las Cuencas de los ríos Yaque del Norte y Yaque del Sur: Reporte Final. 7 Vols. Grenoble - Francia. Marzo 1968.

- **1. Resumen y Conclusiones.** 28p. **SOGREAH-1**
- **2. Estudios Preliminares.** 77p. **SOGREAH-2**
- **4. Estudio de Viabilidad para un primer desarrollo de la Cuenca del Yaque del Norte.** 185p. **SOGREAH-4**
- **5. Anexos de los Vols. 2 y 3: Hidrología y Estaciones de Aforo.** 146p. **SOGREAH-5**
- **6. Anexos del Vol. 4: Viabilidad para un primer desarrollo de la cuenca del Yaque del Norte.** 226p. **SOGREAH-6**

SWECO - Proyecto Acueducto Cibao Central: Auditoría Técnica. Informe Final. Santo Domingo: INDRHI. Julio 1995.

SWECO-if

VATTENBYGGNADSBYRÅN (VBB) - Memoria sobre el aprovechamiento múltiple del río Yaque del Norte sitio de Tavera. 1961.

VBB-mam

VATTENBYGGNADSBYRÅN (VBB) - Aprovechamiento de la energía hidroeléctrica. 1963.
VBB-ahe

Capítulo 5A - CONTRAEMBASE DE LÓPEZ

BID - Proyecto López-Angostura: Informe de Proyecto. Santo Domingo. Dic. 1980.

- **Vol II: Introducción.** 28p. **I/DDH**

CDE - Informe General sobre los Antecedentes el Estado Actual de los Proyectos Tavera-Bao y Tavera-López. Santo Domingo. Ene 1977. **I/DDH**

HARZA OVERSEAS - Proyecto Tavera-López. Informe de Factibilidad. Chicago. CDE. Feb. 1978.

- **Vol I: Contraembalse López.** **I/DDH**
- **Vol III: Apéndices.** Supplementary Report on López Site Selection. **I/DDH**

HARZA-HANSON RODRIGUEZ - Proyecto López Angostura: Informe Final de Diseño y Construcción. Santo Domingo. CDE. Ene. 1988. **I/**-2**

LA CUENCA DEL RÍO BAO Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

LAHMEYER - **Estudio de Sedimentación Limpieza del Contraembalse López.** Santo Domingo.
I/DDH

LAHMEYER - **Contraembalse López: Documento de Licitación.** Santo Domingo. CDE. Lote 1. Civil Works: Parte A. General Conditions.

LAHMEYER - **Proyecto López-Angostura.** Frankfurt (Main). Alemania. CE.

- **Informe Definitivo de Factibilidad.** Santo Domingo. Ago. 1979.
- **Vol I. Informe Principal.**
- **Criterios de Diseño (Borrador).**

MENDOZA Y ARMENTEROS - **Estudio Hidráulico del río Yaque del Norte y sus afluentes Jimenoa, Bao y Mao.** Santo Domingo, 1956.

MENDOZA Y ARMENTEROS - CONCRETERA DOMINICANA CxA - **Proyecto definitivo del Aprovechamiento Múltiple del río Yaque del Norte, Sitio de Tavera. Memoria.** Santo Domingo, Oct. 1959.

VOHRZYHA, KURT - **Estudio geológico del río Yaque del Norte, desde la confluencia con el río Bao hasta la boca de la Angostura, cercana a López.** Santo Domingo, Oct. 1962.
I/CD

VOHRZYHA, KURT - **Estudio geológico el río Yaque del Norte, desde la confluencia con el río Bao hasta Santiago de los Caballeros.** Santo Domingo, Oct. 1962. I/CD

Capítulo 6 - OTRAS OBRAS Y PROYECTOS DE APROVECHAMIENTO HIDRÁULICO

0. COMUNES

1 AID - HARZA - **Estudio de Reconocimiento: Programa de Desarrollo de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.** CDE - COENER - INDRHI Febrero, 1984. HARZA-Peq. C.H.

2 CDE - **El Desarrollo de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en Rep. Dominicana.** Santo Domingo. I/DDH [F]

3 DDH - **Informe sobre la situación de los Proyectos Hidroeléctricos.** Santo Domingo, Junio 1988. BDDHSIT

4 DIT HARRIS-SCA-MENDAR - **Informe de Factibilidad Proyecto Hidroeléctrico Alto Yaque-Bao.** Santo Domingo: CDE. Jul. 1984. I/DDH

1. **Informe principal** AYBIFAC

5 2. **Planos**

6 3. **Anexos**

7 GARCÍA, Eldon - TURBIDES, Josefina - CASTELLANOS, Bernardo – **Revisión de la Hidrología del Proyecto Alto Yaque-Bao. Parte 1: Informe Principal.** CDE-DDH - Departamento Hidrología Santo Domingo. Abr. 1983. AYNB HI

- 8 INDRHI - **Distrito de Riego "Alto Yaque del Norte": Diagnóstico del Recurso Agua.**
Santiago. Feb. 1990. I/P1-C1

- 9 INTECSA - **Estudio Preliminar de Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos en la cuenta alta de los ríos Yaque del Norte y Bao.** Santo Domingo. Mayo 1980.
I/P1-A3

- 10 INTECSA - **Proyecto Alto Yaque-Bao: Informe de Prefactibilidad.** CDE: DDH. Abril 1980.
AYNB IP

- 11 INTECSA - **Proyecto Alto Yaque-Bao. Segunda Etapa del Estudio de Pre-factibilidad.**
 - **Memoria. Santo Domingo.** I/DDH

- 12 • **Definición, Técnicas y Costes (Anejos)**
 - 1 Definición Técnica
 - 2 Costes de las Alternativas
 - 3 Regulación del Yaque del Norte
 - 4 Grado de Equipamiento
 - 5 Proyecto Bejucal Bajo (660) - Tavera (325)

- 13 • **Planos**
 - Cap. 1 Planos Obra Civil
 - Cap. 2 Láminas Geología
 - Cap. 3 Fotografías Geológicas
 - Cap. 4 Láminas Resumen de Sondeos

- 14 INTECSA - **Estudio de grado de equipamiento del Proyecto "Alto Yaque del Norte".** Santo Domingo: CDE. Dic. 1983. I/PNO-C4An.

- 15 JORGE, Marcelo - **La Cuenca Media y Alta de los ríos Yaque del Norte y Bao: Presente Futuro de la Producción de Agua y generación de Energía Eléctrica.** Santiago. Sept. 1991.
AYNB MJ

- 17 RODRÍGUEZ, Carlos - **Informe preliminar sobre aprovechamientos hidroeléctricos en las cuencas altas de los ríos Yaque del Norte y Bao.** 1977

- 18 SINOTECH - **Informe Provisional Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos en la cuenca alta de los ríos Yaque del Norte y Bao.** CDE. Santo Domingo. Feb. 1982.
 - **Informe Provisional** BSINO IP

- 19 • **Appendix 1 : Hydrological Report** BSINO AH

- 20 • **Appendix 2 : Cost Estimate** BSINO AC

- 21 SOFRELEC - **Plan de Expansión del Sistema Eléctrico de la CDE, 1979-1992. Aprovechamientos Hidroeléctricos: Cuenca del Yaque del Norte.** CDE. Rep. Dominicana. Octubre de 1979.

- 22 **Plan de Expansión del Sistema Eléctrico de la CDE:**
 - **Anexo 1. Obras Hidroeléctricas: Elementos de Optimización.** CDE, Mayo 1980.

- 23 • **Previsiones sobre los Equipamientos de Generación a poner en servicio antes de 1986:** Informe Preliminar. CDE. Mayo 1980.

24 PNORHI - **Listado de Proyectos hidroeléctricos del DDH, Misión China y recopilados en el INDRHI por cuenca (en diferentes etapas, no incluye los ya construidos).** Santo Domingo. 1993.
I7PNO-F3

25 LAURENCE, Kenneth (et al]) - **Informe de la Misión para Evaluación de Sitios de Pequeñas Centrales hidroeléctricas en la Rep. Dominicana (Borrador).** Santo Domingo. N.U. Depto. de Cooperación Técnica para el Desarrollo. Dic 1998.
I/DD

1. MANABAO-GUANAJUMA y BEJUCAL-AGUACATE

1 INTECSA - **Estudio de Factibilidad del Proyecto Alto Yaque: Saltos de Manabao-Guanajuma y Bejucal-Aguacate.** Santo Domingo. Enero 1983. I/DDH BAYMAGU AYNB GUA

2 INTECSA - **Estudio de Factibilidad del Proyecto Alto Yaque: Saltos de Manabao-Bejucal y Bejucal-Tavera.** SD: CDE. Abril 1983.

• Vol. I

I/DNO-DB1

3 INTECSA - **Proyecto Alto Yaque del Norte: Salto Bejucal-Tavera. BT-6. Diseño de la Presa de Bejucal. BT-7. Estudio de Construcción.** CDE. Septiembre 1983. DDH BAYBETA AYNB BET

4 INTECSA - **Proyecto Alto Yaque del Norte: Salto Manabao-Bejucal. MB-5. Diseño de la Presa de Manabao. MB-6. Estudio de Construcción.** CDE. Sept. 1983.

AYNBMB

5 INTECSA - **Proyecto Manabao-Bejucal-Tavera.**

• Documentos de Licitación.

- T. I) 0 Instrucciones Generales
A Informaciones
B Condiciones Generales
C Condiciones Especiales

- T. IV) Planos. Mar. 1985.

* I/DDH

2. BAIGUAQUE

1 CDE - **Pequeños Proyectos Hidroeléctricos. Alto Yaque-Bao. Proyecto Baiguaque. Documentos de Licitación.** CDE. Santo Domingo. Mayo 1983.

• Tomo A: Condiciones Generales.

I/DDH

2 • Tomo H-Planos.

I/DDH

3 • **Construcción del Proyecto Baiguaque: Informe N° 10.** Santo Domingo. Oct. 1985
*I/MCh-D2

3. GURABO

1 SINOTECH - **Proyecto Gurabo. Documento de Licitación.** 1986.

• Tomo AC: Condiciones Generales. Julio 1986

I/DDH

4. JAMAMÚ

- 1 SINOTECH - **Proyecto Jamamú: Documento de licitación**. Santo Domingo: CDE. Ene 1984.
 - **Tomo A-C: Condiciones Generales** I/DDH
- 2 • **Tomo H-Planos.** I/DDH
- 3 CDE - **Construcción del Proyecto Jamamú: Informe N°1**. Santo Domingo. Oct. 1985.
 - *I/MCh-C2

5. LAS PLACETAS

- 1 HARZA ENG. - **Las Placetas Project:**
 - **A Technical Feasibility Report (Borrador)**. SD. Sept. 1985. Vol. II: Exhibits.
 - * I/DDH
- 2 • **A Feasibility Report: Vol. III: Appendices**. Oct. 1985. DDH: Luci
- 3 • **Contract Documents**. Santo Domingo. Nov. 1985.
 - **Volume VII: Bid Drawings.** * I/DDH

6. LOS MONTONES

- 1 PLAN SIERRA - **Proyecto de Riego de los Montones: Informe de Reconocimiento**.
ABMONT

BIBLIOGRAFÍA no incorporada y que “actualizaría y enriquecería” lo ya redactado

Lo ya redactado en el Libro sobre el río Bao.

1. AQUINO C, ANDRÉS. **Informe Final de Consultoría en Planificación**. INDRHI. Santo Domingo, Mayo de 1996.
2. PICHARDO, Jesús Ma. **Informe Final de Consultoría en Distritos de Riego**. INDRHI. Santo Domingo, Abril de 1996.
3. JNDRHT. MA. **Programa de Administración de los Sistemas de Riego por los usuarios**. Santo Domingo, DN Septiembre de 1995.
4. INDRHI: MA. **Organización y Capacitación de los Organismos de Usuarios**. Santo Domingo, DN, Septiembre de 1995.
5. GÓMEZ, SANTOS-SERCITEC-NEDECO. **Programa de Fortalecimiento Institucional**. INDRHI. Santo Domingo. Mayo 1991.
 - **Informe Final.**
6. • **Manual de Planificación.**
7. • **Código de Aguas (Anteproyecto de Ley, 1994).**

8. OEA-INDRHI. **Plan Nacional de Ordenamiento de los Recursos Hidráulicos.**
PNORHD
9. • **Diagnóstico (Documento Preliminar sujeto a Revisión).** Santo Domingo, 1994.
ODIAG
10. • **Uso doméstico del agua en la República Dominicana. Documento nacional (Borrador sujeto a discusión).** INDRHI. Santo Domingo. 1995.
OAGUA
11. • **Balance Hidrológico Actual (2a aproximación) & Futuro (1ª aproximación).** (Juan Chalas - Miosotis Figueroa - Manuel Suero). Santo Domingo, Julio 1994.
OBALAN
12. • **Demanda de Riego Actual y Futura en la RD.** (Juan Chalas - Miosotis Figueroa - Manuel Suero). Santo Domingo, Junio. 1994.
13. • **Situación de la Hidroelectricidad en la RD: Documento nacional (Documento borrador sujeto a discusión).** Santo Domingo, 1995.
OENER
14. • **Marco Legal y Desarrollo Institucional.** (Dr. Julio César Lora Cabrera). Santo Domingo, 1993.
15. • **Los Recursos Hidráulicos en la RD: Síntesis de los Informes Sectoriales.**

BIBLIOGRAFÍA no encontrada

- DLT-HARRIS-SCA-MENDAR - **Informe de Factibilidad Proyecto H.E. Alto Yaque-Bao.** Santo Domingo: CDE. Julio 1984. 192p.
- 1 **Informe principal**
 - 2 **Planos**
 - 3 **Anexos**
 - 4 INTECSA - **Proyecto Alto Yaque-Bao. Segunda Etapa del Estudio de Pre-factibilidad. Definición, Técnicas y Costes (Anejos). Planos.**
 - 5 INTECSA - **Estudio de grado de equipamiento del Proyecto "Alto Yaque del Norte".** Santo Domingo: CDE. Dic 1983. 74p.
I/PNO-C4An
 - 7 RODRÍGUEZ, Carlos - **Informe preliminar sobre aprovechamientos hidroeléctricos en las cuencas altas de los ríos Yaque del Norte y Bao.** 1977.
 - 8 PNORFH - **Listado de Proyectos Hidroeléctricos del DDH, Misión China y recopilados en el INDRHI por cuenca (en diferentes etapas, no incluye los ya construidos).** Santo Domingo. 1993. 145p.
I/PNO-F3
 - 9 INTECSA - **Estudio de Factibilidad del Proyecto Alto Yaque: Saltos de Manabao-Bejucal y Bejucal-Tavera. Vol. I.** SD: CDE. Abr. 1983.
 - 10 **Y los otros vols.**
 - 11 LAHMEYER - **Estudio de Factibilidad de Jagua.** 1967.
 - 12 EBASCO SERVICES INC - **Feasibility Study Tavera Multipurpose Project.** 1957.

- 13 MONTREAL ENGINEERING - **Informe de la Investigación en el Terreno del Proyecto Tavera de Aprovechamiento Múltiple.** Nov. 1957.
- 14 VATTENBYGGNADSBYRÅN (VBB) - **Memoria sobre el aprovechamiento múltiple del río Yaque del Norte sitio de Tavera.** 1961.
- 15 BID (Carlos Sanclemente) - **El aprovechamiento del río Yaque del Norte en Tavera. Informe técnico.** 1963
- 17 CDE - **Informe General Sobre los Antecedentes y el Estado Actual de los Proyectos Tavera-Bao y Tavera-López.** Santo Domingo. Ene. 1977. 352p. I/DDH
- 18 U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR BUREAU OF RECLAMATIONS (D.S. Pastir) - **Report on the Development of Yaque del Norte river Basin, Dominican Republic. Comprehensive Water Resource Development Analysis.** 1974.
- 19 BID - **Report on Development of Yaque del Norte River Basin, Tavera-Bao. Project Analysis.** 1974.
- 20 INDRHI: DIR PLANTE - **Proyectos en Estudio y Construcción en la cuenca del rio Bao.** 1992.
- 21 HYDROTECHNIC - **Estudio de Factibilidad del Proyecto de Servicios de Acueducto y Alcantarillado Sanitario para la ciudad de Santiago, Programa de Mejoras y Expansión.** 1969.