

**XXVI CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA  
SANTIAGO, CHILE, AGOSTO DE 2014**

**POLITICA TARIFARIA CON INCLUSION DE PAGO POR SERVICIOS  
AMBIENTALES HIDRICOS EN CUENCAS HIDROGRAFICAS  
REGULADAS: Una aplicación a la presa Gallito Ciego del proyecto especial  
Jequetepeque-Saña**

*Oswaldo Ortiz Vera  
Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú  
ingoov@gmail.com*

**RESUMEN**

El objeto del presente trabajo es desarrollar una metodología que permita incluir en el sistema tarifario un mecanismo de compensación o pagos por servicios ambientales hídricos en los proyectos de grandes presas. Se trata de aprovechar estratégicamente una de las grandes exigencias de estos proyectos, la forestación intensiva, como parte del plan integral de control de sedimentos de la cuenca, de tal modo que garantice el cumplimiento del horizonte del flujo económico de retorno a largo plazo de la alta inversión que demanda este tipo de proyectos. La metodología consiste en evaluar minuciosamente la oferta hídrica de la cuenca regulada o a regular, plantear o definir la vida útil de la presa en función de la producción o contribución de la tasa anual de sedimentos a manejar o controlar. Con esta base realizar la evaluación económica del proyecto, introduciendo en el flujo de costos y beneficios los correspondientes al plan forestal, el que debe iniciarse mínimamente conjuntamente con la ejecución física de las obras de represamiento, cuya duración toma entre 5 y 8 años, en promedio. Finalmente, se determina el valor económico del agua y la tarifa correspondiente. El costo real de la tarifa de agua calculada para la presa Gallito Ciego, de \$ 27 (Dólares US) por cada 1000 m<sup>3</sup>, discrepa en gran medida con el valor actual equivalente a \$ 4 (Dólares US), el que no refleja el costo de la inversión. Esto teniendo en consideración que el horizonte económico es de 50 años (vida útil del proyecto), el caso se torna más crítico si se conoce que la referida presa colapsó antes de los 10 años de funcionamiento, por falta de un plan de control de sedimentos.

**ABSTRACT**

The purpose of this work is to develop a methodology to include in the tariff system a compensation mechanism or payments for environmental services in water dam projects . It is strategically use one of the major requirements of these projects , intensive forestry, as part of the comprehensive plan sediment control basin , thereby ensuring compliance with the economic horizon backflow long term high investment demand such projects . The methodology is to thoroughly assess the water supply regularly or regulated basin , raise or define the life of the dam in terms of production or contribution to the annual rate of sediment to manage or control . On this basis carry out economic evaluation of the project , introducing the flow of costs and benefits relevant to the forest plan , which should start minimally conjunction with the physical execution of the works of damming , the duration takes between 5 and 8 years, average . Finally, the economic value of water and the appropriate fee is determined. The real cost of water rates calculated for prey Gallito Ciego, \$ 27 ( U.S. Dollars ) per 1000 m<sup>3</sup> , largely disagrees with the current value equivalent to \$ 4 ( U.S. Dollars ) , which does not reflect the cost investment. This considering that the economic horizon is 50 years ( project life ) , the case becomes more critical if it is known that that dam collapsed before 10 years of operation, for lack of a sediment control plan .

**PALABRAS CLAVE:** Tarifas, vida económica, sedimentación, regulación, pago por servicios ambientales, horizonte económico, valor económico del agua.

## INTRODUCCIÓN

Teniendo como marco internacional la Agenda 2000 de la Cumbre de Río (1992), los países latinoamericanos, desde hace buen tiempo, vienen dedicando importantes esfuerzos por introducir un modelo de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) que, a la par de contribuir con la conservación de los recursos naturales, reduzca a su vez la pobreza mediante mecanismos financieros o incentivos económicos que garantice un servicio ambiental sostenido. Los países latinoamericanos se caracterizan por tener abundancia y diversidad de recursos naturales, ubicados generalmente en las cuencas altas y medias, donde la tierra está ocupada por campesinos pobres, que de pronto transmiten su pobreza a las tierras que conducen. Sin embargo, este esfuerzo, así como ocurre con el manejo de cuencas, no ha dado frutos importantes, no solo porque el cambio de uso de la tierra es bastante complicado, sino también porque no todos los campesinos son propietarios de las tierras que conducen.

El enfoque de los PSA en Latinoamérica, que ostenta como marco la reducción de la pobreza, ha significado en la práctica un fracaso porque, en general, los actores de las cuencas altas o de aguas arriba poseen similares condiciones socioeconómicas que los de aguas abajo (no hay diferencia socioeconómica notoria entre pobladores rurales) y, por ende, bajo tales condiciones un PSA, como mecanismo de redistribución de ingresos económicos, resulta inaplicable y una pura utopía. Este enfoque que tuvo su origen en la Cumbre de Río (1992) - basado en que la contaminación y destrucción ambiental estaban ligadas íntimamente a la pobreza y, que por lo tanto, para conservar el medio ambiente había que combatir la pobreza - es en parte cierto; pero que no puede conseguirse sólo a través de los PSA como tales, sino más que todo a través de inversiones en proyectos sostenibles de los ingresos captados por las actividades extractivas que realizan las empresas, a manera de compensación. Además, la idea de pagar el cambio de uso de la tierra, no dista mucho de los famosos programas sociales asistencialistas de los gobiernos de turno que convierten a los pobres en más pobres.

Lo cierto de todo esto es que resulta bastante complicado encontrar una metodología estándar de valorización económica, para cada variable ambiental, siendo difícil también la tarea de identificar y asignar precios de mercado a los recursos naturales, como el agua, y más difícil aún identificar quienes serán los compradores y quienes los vendedores de los servicios ambientales en un libre mercado global. También es cierto que, es imposible avanzar en este campo si no hay un proceso de educación ambiental y de manejo de cuenca, en general. El tema de los PSA debe, necesariamente, estar inmerso en el plan integral de desarrollo de cuenca; que en la práctica no existe, por cuanto la subdivisión política de los Estados no obedece a este criterio, donde los límites políticos no son concordantes con los límites de cuenca, a los que los PSA están asociados, sobre todo en lo concerniente al recurso hídrico.

En el Perú, todavía se tiene muy poca experiencia en el tema de los PSA a nivel nacional. Sin embargo, existen varios ejemplos aislados a nivel de proyectos en ejecución, limitados mayormente a servicios hídricos en la sierra y en la costa, tales como: valoración del pago por servicio ambiental de provisión de agua proveniente de la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca, cuenca del Río Chili en Arequipa; y, valoración del pago por el servicio ambiental de provisión de agua proveniente del Parque Nacional Yanachaga-Chemillén, cuenca del Río San Alberto en Oxapampa.

En este caso, es de particular interés el valor económico del recurso hídrico de la cuenca regulada del Río Jequetepeque, donde la presa "Gallito Ciego" (vida útil proyectada, 50 años) ha rebasado los límites del volumen muerto (85 MMC) en menos de diez años de funcionamiento (colapso prematuro), fruto de una sedimentación acelerada a causa de la

erosión hídrica y en ausencia de programas de manejo y de control de sedimentos en la cuenca, amén de los pagos por servicios ambientales.

El objeto de este trabajo es la valoración económica del recurso hídrico, regulado mediante la presa Gallito Ciego, simulando un pago por servicios ambientales hídricos, que demandaría una masiva forestación en la cuenca alta del río Jequetepeque, como parte de un plan integral de control de sedimentos en la cuenca, una exigencia ineludible en este tipo de proyectos. Aun cuando la presa ha colapsado prematuramente por falta del mencionado plan, se está a tiempo todavía de poner en marcha un programa de forestación masiva en la cuenca alta a fin de prolongar la vida física de la presa y con ello seguir captando algunos beneficios más, hasta su “muerte física” final. Los resultados del bosque, aun cuando el embalse haya colmatado totalmente, traerá muchos beneficios, aparte de mejorar sustancialmente la calidad y cantidad de agua en la cuenca.

Se plantea un programa agresivo de forestación en la cuenca alta de 140 000 ha, que cubre un 40% de la superficie total drenable hacia la presa Gallito Ciego. Los costos de inversión que demande este proyecto se consideran incluidos en un sinceramiento de tarifas en el marco del mismo horizonte de recuperación de la inversión. Compensación ambiental que permitirá saldar en parte un compromiso con la naturaleza, mediante mecanismos indirectos de pagos por servicios ambientales hídricos, que de paso nos ha endosado una costosa factura.

## **I. MATERIALES Y MÉTODOS**

### ***2.1. Ámbito de Estudio***

La zona de estudio comprende el ámbito de la cuenca del río Jequetepeque, la misma que políticamente se ubica en territorios de las provincias Cajamarca, San Miguel, San Pablo y Contumazà, del departamento Cajamarca; y distrito de Chepén, provincia de Pacasmayo del departamento La Libertad. Hidrológicamente pertenece a la vertiente de Pacífico; y geográficamente, el área de aproximadamente 3 443.07 Km<sup>2</sup>, se extiende entre las longitudes W 78°21'- 79°36' y latitudes S 06° 48'- 07° 26', y entre las altitudes 400 y 4 200 msnm (láminas.1 y 2).

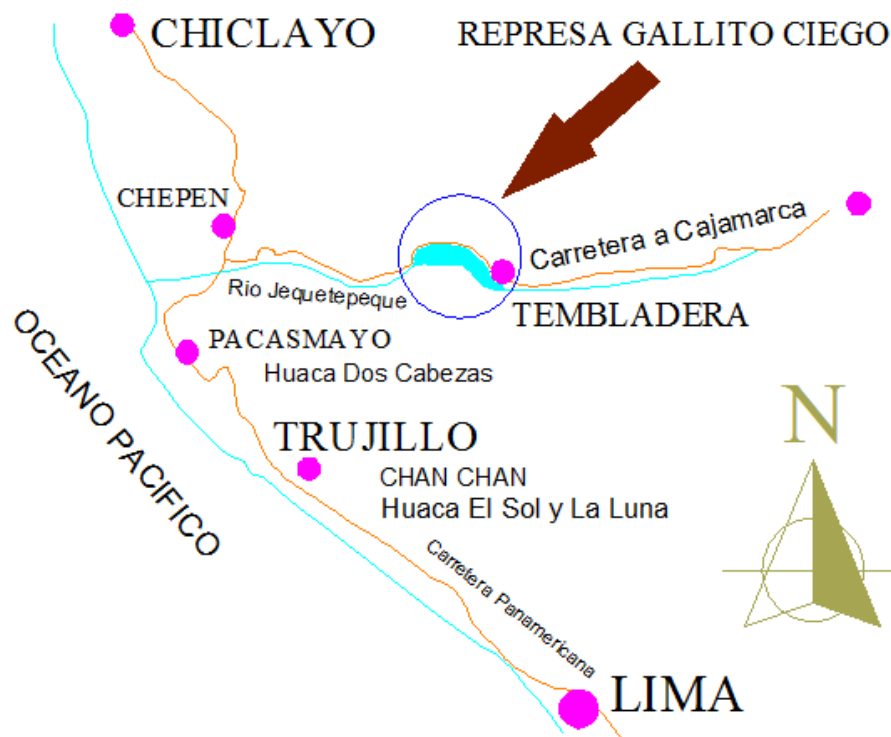


Fig.1.- Ubicación de la presa Gallito Ciego

### Características Hidroclimáticas de la Cuenca de Estudio

Hidrologicamente, la Cuenca del Río Jequetepeque se extiende, desde su entrega en el mar Pacífico, hasta las estribaciones más altas de las cuencas colindantes de los ríos Chamán, Saña y Chancay de la Región Lambayeque; ríos Cajamarca, Jadibamba y Llaucano de la Región Cajamarca; y río Chicama de la Región La Libertad. Haciendo un área total de aproximadamente 4 971 Km<sup>2</sup>, de la cual 3 443 Km<sup>2</sup> (69.3%) corresponde a la superficie drenable hacia la presa Gallito Ciego, la que permite regular alrededor de 400 MMC cada año. Es una de las cuencas reguladas más importantes del norte peruano, con cuya presa se benefician directamente más de 20 000 familias, mediante las áreas agrícolas bajo riego de más de 40 000 ha; cuyos cultivos más importantes son el arroz, maíz, frutales y otros cultivos menores. El monocultivo imperante es el arroz.

**Precipitación.-** La precipitación en la cuenca es extremadamente variable, desde un valor mínimo despreciable (prácticamente nula, desde el punto de vista agrícola) a nivel del mar, hasta un promedio de 1550 mm/año en la cabecera de cuenca (4 200 msnm); de los cuales aproximadamente el 70 % tiene lugar entre los meses de enero a marzo, un 20% en estiaje (abril a agosto) y un 10% en el periodo de transición (septiembre a diciembre). Frente a tales condiciones extremas de distribución espacial, teniendo en cuenta la información registrada en una red de 30 estaciones pluviométricas distribuidas en la cuenca media y alta, luego del análisis de isoyetas, se estima que la precipitación promedio en el área de estudio está alrededor de 400 mm/año. Este bajo promedio es un indicador de la extrema aridez existente, por escasez de precipitación, en la cuenca media y baja, por debajo de 1300 msnm, en un área cercana al 15% del total.



Fig.2.- Cuenca del Río Jequetepeque

**Temperatura.-** Espacialmente, la temperatura también tiene una amplia variación con la altitud, desde unos 25°C al nivel del mar, hasta un promedio de 10.5 °C para altitudes que superan los 4000 msnm, donde se alcanza incluso temperaturas de hasta - 5°C donde se producen fuertes heladas en los finales del estiaje (julio a agosto). La variación de la temperatura promedio anual, en una misma localidad, no es importante y puede considerarse despreciable; sin embargo, a largo plazo puede verse alterado por el cambio climático global que se viene experimentando.

**Humedad relativa.-** La humedad relativa también es función de la altitud, variando desde un promedio de 80% a nivel del mar hasta un 60% en la cabecera de cuenca. En la zona de mayor recepción de precipitaciones (cabecera de cuenca), la humedad relativa puede alcanzar valores medios de hasta 70% durante el periodo de precipitaciones (enero a marzo) y mínimos valores medios durante el estiaje (50%).

**Radiación solar.-** La distribución de la radiación solar en la cuenca es más uniforme que las variables climáticas anteriores, con un equivalente promedio de 5.2 mm/día y un promedio de 5.8 horas/día de sol; lo cual constituye con un gran potencial de energía solar, que aún no ha sido aprovechada de manera importante.

**Viento.-** La velocidad del viento es otra variable importante que varía entre valores mínimos promedio de 55 Km/día hasta valores promedio de 120 Km/día. Es también una fuente importante de energía que, conjuntamente con la energía solar, pueden ser aprovechadas para el desarrollo de zonas rurales.

**Evapotranspiración.-** La excesiva aridez de la mayor parte de esta cuenca determina también un alto índice de evapotranspiración potencial, cuyos valores medios anuales fluctúan entre 2.7 mm/día hasta 4.8 mm/día; cuyo promedio multianual se mantiene también casi estacionario, incrementándose con la altura. La evapotranspiración real en la cuenca del río Jequetepeque ha sido estimada a partir de la evapotranspiración potencial calculada mediante el criterio de Penman (1) con información climática promedio multianual registrada en la Estación Weberbauer (07° 10'S, 78° 30'W) ubicada en la cuenca alta del río Cajamarca a una altitud

similar al de la cuenca media en estudio. El criterio de Penman, para la estimación de la evapotranspiración potencial viene dada por la ecuación (1).

$$ETP = C [W R_n + (1-W) f(u) (e_a - e_d)] \quad (1)$$

$$f(u) = 0.27 \left( 1 + \frac{u}{100} \right)$$

$ETP$  = Evapotranspiración potencial, mm

$C$  = Factor de corrección, varía con la radiación solar, humedad y viento (Tabla)

$(1-W)$  = Factor de ponderación debido a efectos de viento y radiación solar

$R_n$  = Radiación neta (diferencia entre radiación incidente y reflejada), mm/día

$e_a$  = Presión saturante de vapor de agua a la temperatura media del aire, milibares

$e_d$  = Presión de vapor a la temperatura del aire, milibares

$f(u)$  = Función relacionada con el viento

$u$  = Velocidad del viento (altura, 2 m), Km/hora

## 2.2. Modelo de Balance Hidrológico

El modelo propuesto para el balance hidrológico, utilizado en este estudio, se deriva del modelo conceptual general de balance hidrológico expresado mediante la ecuación (2) y en forma esquemática representado en la Fig.3. Es un modelo caja negra donde se supone que el balance es de largo plazo, que puede comprender varias décadas (más de 50 años), y por esta razón se desprecian otras componentes que exigen los modelos de corto plazo.

La hipótesis más importante de este *modelo conceptual de balance hidrológico de largo plazo* (Fig.3), es que el estado actual del sistema siempre está su máxima capacidad de almacenamiento, el que mantiene constante durante todo el periodo de balance ( $S=\text{constante}$ ). Bajo este contexto, la única variable de entrada al sistema (precipitación,  $P$ ) se descompone en las dos únicas variables de salida: la *escorrentía* (incluye la superficial y subterránea,  $Q_s$ ) y la *evapotranspiración real* ( $E$ ).

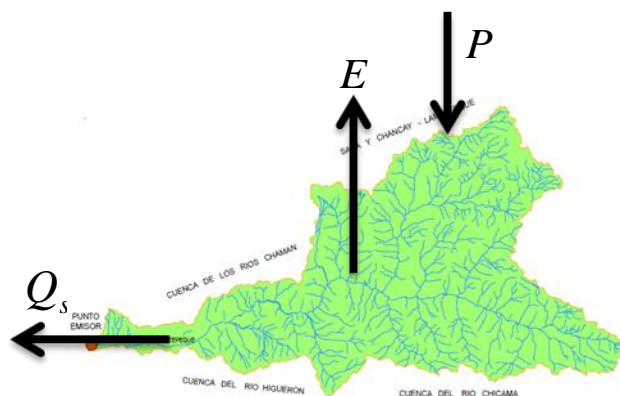


Fig.3. Esquema del modelo de balance hidrológico anual

Estableciendo el balance de las variables de la Fig3, se obtiene la ecuación (2).

$$I_{(t)} - O_{(t)} = \frac{\partial S}{\partial t} \quad (2)$$

$I_{(t)}$  = Ingresos o entradas al sistema

$O_{(t)}$  = Salidas del sistema

$S$  = Almacenamiento en el sistema

$t$  = Periodo de tiempo del balance

Bajo tales consideraciones hipotéticas, la derivada del segundo miembro de la ecuación (2) es nula ( $\frac{\partial S}{\partial t} = 0$ ). Teniendo en cuenta esta condición y reemplazado las variables de entrada y salida al sistema de la Fig.3, se llega a la expresión (3) del modelo caja negra.

$$Q_s = P - E \quad (3)$$

$Q_s$  = Escurrimiento medio multianual (flujo base + flujo directo), mm

$P$  = Precipitación promedio multianual, mm

$E$  = Evapotranspiración real promedio multianual, mm

La ecuación (3), en términos de elementos infinitesimales de campo (distribución continua), se transforma en la expresión (4) o en su forma finita de la ecuación (5).

$$Q_m = \int_A [P(x, y) - E(x, y)] dA \quad (4)$$

$Q_m$  = Caudal promedio multianual de largo plazo, m<sup>3</sup>/s

$P(x, y)$  = Precipitación promedio multianual que recibe el punto (x, y)

$E(x, y)$  = Evapotranspiración promedio multianual que se pierde en el punto (x, y)

$dA$  = Diferencial de área de la cuenca superficie de la cuenca

$A$  = Área de la cuenca.

$$Q_m = \sum_A (P_i - E_i) \Delta A_i \quad (5)$$

Donde:

$Q_m$  = Caudal multianual promedio, m<sup>3</sup>/s

$P_i$  = Precipitación multianual promedio

$E_i$  = Evapotranspiración multianual real promedio

$\Delta A_i$  = Áreas parciales en la se subdivide la cuenca

La precipitación promedio multianual ha sido determinada por el método de isoyetas y el caudal de escorrentía promedio multianual mediante la ecuación de balance (5). Haciendo hincapié que el caudal de escorrentía promedio multianual involucra las componentes de flujo superficial (escorrentía directa) y el flujo base (agua infiltrada y percolada).

Gran parte del flujo base de esta cuenca (escorrentía subterránea) se usa para cubrir requerimientos hídricos aguas arriba de la presa, en cambio el grueso de la escorrentía directa

(escorrentía superficial) se almacena en el embalse y se usa para regular el riego en las tierras agrícolas aguas abajo de dicho represamiento. Sin embargo, junto con la escorrentía directa ingresan cada año al embalse varios millones de metros cúbicos de sedimentos.

### **2.3. El recurso Hídrico y Necesidades de Agua**

Dada la acentuada aridez en la mayor parte de la cuenca media y baja (por debajo de los 2500 msnm), el recurso hídrico es muy escaso, sobre todo durante el periodo de estiaje (Abril-Agosto). Escasez que también va acompañada con las escasas áreas bajo riego, debido a lo abrupto de su topografía y naturaleza rocosa de su relieve, aguas arriba de la represa. En esta parte de la cuenca, el río se desarrolla en una especie de cañón, con vertientes rocosas empinadas formando un estrecho valle inundable entre las inmediaciones de los poblados de los distritos de Chilite y Tembladera, haciendo un recorrido de aproximadamente 40 Km. En cambio, aguas debajo de la presa, el valle del río Jequetepeque se amplía en una especie de abanico hasta llegar al mar Pacífico, donde se ubican las tierras con el más alto potencial agrícola en una extensión de más 100 000 ha correspondientes a las regiones de Lambayeque y La Libertad.

El régimen del río Jequetepeque es totalmente irregular e intermitente con promedios mensuales multianuales muy pequeños en estiaje y muy grandes en periodo crítico de avenidas (Marzo).

El área receptora de más del 80% de precipitaciones producidas en la cuenca está limitada a un 40% de la superficie colectora total, sobre los 3000 msnm.

Estas cuencas, que además tienen un alto grado de descomposición rocosa por intemperismo, naturalmente no son adecuadas para asentar grandes presas, por la gran cantidad de material sólido que transportan los ríos durante la época de avenidas. Salvo que se provea de una eficiente infraestructura de control de sedimentos y de manejo de suelos, incluyendo programas agresivos de forestaciones, conservación de bosques naturales y presas de retención de sedimentos, entre otros.

Se evaluará aquí sólo el requerimiento hídrico aguas abajo de la presa Gallito Ciego, por ser este embalse el proyecto más importante de la cuenca y materia del presente estudio. La demanda hídrica, aguas abajo del represamiento, es básicamente para atender usos agrarios de más de 30 000 ha de tierras agrícolas; cuyo cultivo bandera (más de 90 %) es el arroz, de excesivo consumo de agua. El agua que se capta desde la represa es primeramente turbinada en la central hidroeléctrica Gallito Ciego, generando 34 MW de energía hidroeléctrica promedio la que, luego de pasar por un sistema de micro regulación, se destina finalmente al riego. El monocultivo arroz, no solo es dañino por el alto consumo de agua y baja rentabilidad sino también porque saliniza y degrada el suelo por falta de un drenaje adecuado.

Los cultivos más importantes en el valle Jequetepeque, aguas arriba de la represa (hasta los 900 msnm), están representados por el arroz, caña de azúcar, uva, mango y otros frutales en menor escala y en este orden de importancia.

En líneas generales, la demanda de recurso hídrico, aguas abajo, de la represa es muy alta, por la cantidad de tierras habilitadas, cuya producción u oferta hídrica de la cuenca está muy por debajo, aun cuando la presencia de la presa evita las pérdidas que antes se evacuaban al mar.



#### **2.4. Balance Hídrico de la Cuenca**

La oferta hídrica en la cuenca del río Jequetepeque se ha determinado, teniendo como referencia 30 años de información de precipitaciones registradas en una red de 33 estaciones pluviométricas distribuidas en la cuenca media y alta, y cabecera de la cuenca vecina del río Cajamarca. Con esta información se ha elaborado el mapa de distribución espacial de precipitaciones promedio multianual en la cuenca, conocido bajo el nombre de mapa de isoyetas. Con este mapa y la aplicación de la ecuación (5) se ha determinado el promedio multianual de la esorrentía.

La componente de esorrentía promedio ( $Q_m$ ), determinada mediante el modelo conceptual caja negra de la Fig.3, se ajusta mediante el uso de 67 años (años hidrológicos, 1920-21 a 1987-88) de información de descargas medias mensuales registradas en la estación hidrométrica Ventanillas (07°17`S; 79°17`W) del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, SENAMHI, Perú. Previo a ello se ha determinado la componente de evapotranspiración potencial utilizando el criterio de Penman, descrito mediante la ecuación (1), empleando información climática promedio multianual de la estación Weberbauer (07°12`S; 78°18`W, SENAMHI), ubicada en la cuenca vecina del río Cajamarca, aproximadamente a la misma altitud de la cuenca media del río Jequetepeque. A partir de la evapotranspiración potencial, se ha estimado la evapotranspiración real utilizando, a su vez, un coeficiente de uso consuntivo en concordancia con las características predominantes de la cuenca de estudio.

La demanda hídrica, aguas abajo de la presa, se ha considerado que está representada básicamente por el requerimiento de agua del cultivo de arroz en las 65 000 ha habilitadas con capacidad de producción agrícola. Requerimiento que, en parte, es cubierto por los 400 MMC que regula la presa Gallito Ciego cada año, más los excedentes que se producen cuando la presa está completamente llena. Estos excedentes, aun cuando la regulación tiene el carácter de momentáneo, son totalmente utilizables por cuanto están exentos de material sólido de arrastre y las ondas de avenidas amortiguadas en el embalse.

#### **2.5. Características Técnicas de la y Efectos del Proceso de Sedimentación del Embalse Gallito Ciego**

Constituyen características técnicas de relevancia en el presente estudio la capacidad del embalse, muy en especial el volumen muerto y el volumen de operación, batimetría, tiempo de vida útil y puesta en operación de la presa. Todas estas características, incluyendo el costo, se presentan en la Tabla 4.

La intensa erosión hídrica y la ausencia de programas de control ha desencadenado un proceso de sedimentación, con una tasa anual sorprendente, provocando el colapso temprano del embalse, en menos de 10 años, cuando su proyección u horizonte económico se había estimado en 50 años. Todo esto se aprecia en el resultado del único estudio batimétrico realizado (1999), mostrado también la Tabla que sigue.

**Tabla 4.- Características Técnicas de la Presa Gallito Ciego\***

Descripción	Características
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Dique:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Naturaleza</li> <li>○ Ancho de base (m)</li> <li>○ Ancho de corona (m)</li> <li>○ Altura (m)</li> <li>1.5. Altitud (m.s.n.m.)</li> <li>○ Tipo de regulación</li> </ul> </li> <li>• <b>Embalse:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Vida útil de proyecto (años)</li> <li>○ Capacidad muerta (MMC)</li> <li>○ Capacidad útil (MMC)</li> <li>○ Capacidad de retención de crecidas (MMC)</li> <li>○ Capacidad total (MMC)</li> <li>○ Máximo espejo de aguas libres (Ha)</li> </ul> </li> <li>• <b>Indicadores económicos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Beneficio/costo</li> <li>○ Costo de inversión (Millones de Dólares)</li> </ul> </li> <li>• <b>Batimetría</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Abril, 1999 (MMC)</li> </ul> </li> <li>• <b>Operación</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Puesta en funcionamiento</li> </ul> </li> <li>• <b>Costo</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Primera etapa (Millones de Dólares)</li> </ul> </li> </ul>	<p>Tierra zonificada, simétrica, con núcleo central y pantalla de concreto.</p> <p>700</p> <p>12</p> <p>105</p> <p>320</p> <p>Plurianual</p> <p>50</p> <p>85</p> <p>400</p> <p>86</p> <p>571</p> <p>1 420</p> <p>0.70</p> <p>570</p> <p>97</p> <p>Abril, 1988</p> <p>300</p>

\*Fuente: Proyecto PEJEZA

MMC = Millones de metros cúbicos

## **2.6. Erosión hídrica, Transporte y Deposición de Material Sólido**

La erosión hídrica, en su forma natural, en la cuenca del río Jequetepeque se produce por impacto directo de las gotas de lluvia sobre el suelo desprotegido de cubierta vegetal y por el contacto de rozamiento entre el suelo y el flujo de **escorrentía directa** durante las intensas y frecuentes tormentas de la temporada de lluvias. A su vez, el flujo de esta abundante componente de escorrentía directa se encarga de transportar todo el material sólido erosionado desde la cuenca hasta el cauce principal, cuyas aguas se encargan transportar hasta el embalse de la presa Gallito Ciego, donde finalmente quedan depositados. Pero también la erosión y producción de sedimentos en esta cuenca se origina por el sobrepastoreo, deforestación de pequeños bosques, las inadecuadas prácticas agrícolas en terrenos de gran pendiente y la construcción de caminos y carreteras sin el menor respeto en uso de botaderos, entre otros.

Cuando decimos abundante escorrentía directa es para referirnos a que más del 40% de la precipitación pluviométrica en esta cuenca, dadas las condiciones favorables, se convierte en flujo degradante de escorrentía directa. Constituyen condiciones favorables para la escorrentía directa y producción de sedimentos, el predominio de una topografía con relieve irregular, abrupto y escarpado; escasez o ausencia de cobertura vegetal; geología rocosa en proceso acentuado de intemperismo, sobre todo en la cuenca media y baja; y prácticas agrícolas inadecuadas en la cuenca media y alta; entre otros.

El transporte del material sólido erosionado, desde la cuenca hasta el cauce principal del río, lo realiza la componente de escorrentía directa, el que luego es conducido por las aguas de las avenidas durante e inmediatamente después de las tormentas intensas del periodo de frecuentes precipitaciones (Enero a Marzo). Tan es así que la predicción del transporte de sedimentos de los ríos implica está condicionada a la predicción de las máximas descargas líquidas de transporte.

### Pronóstico de máximos caudales líquidos del río Jequetepeque

El pronóstico de máximos caudales líquidos del río Jequetepeque se determinó mediante el modelo probabilístico de mejor ajuste (Lai, J., 1999) el que, en este caso, recayó en modelo Gumbel (6), calibrado a partir de una muestra de 67 años (corresponde a los años hidrológicos, 1920-21, 1987-88) de observación de descargas máximas mensuales de la estación hidrométrica de Ventanillas (07°17' S, 79° 17' W.- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. SENAMHI, Perú).

$$F(x < X) = \exp[-\exp(-\alpha(x - \beta))] \quad (6)$$

$F(x < X)$  = Probabilidad acumulada que cualquier evento  $x$  será menor que  $X$

$x$  = Magnitud de la variable aleatoria

$\alpha$  = Parámetro de escala del modelo

$\beta$  = Parámetro de posición del modelo

$$T_r = \frac{1}{1 - (1 - J)^{1/N}} \quad (7)$$

Donde:

$T_r$  = Tiempo de retorno, años

$J$  = Incertidumbre o probabilidad de falla

$N$  = Periodo de años consecutivos

Los parámetros del modelo se determinaron a partir de la muestra y el ajuste se verificó mediante el criterio de Smirnov - Kolmogorov para datos sin agrupar.

Teniendo en cuenta que el tiempo de retorno es la inversa de la frecuencia del primer miembro de la ecuación (6), se introduce la variable de incertidumbre de la ecuación (8), con lo cual el modelo queda expedito para la simulación y predicción de descargas máximas para una gama muy grande de probabilidades de ocurrencia.

### Producción y transporte de sedimentos

La estimación de la producción de sedimentos en la cuenca, dada por la tasa específica de sólidos ( $q_s$ : t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), se determinó usando el modelo empírico de la ecuación (7), que involucra los aspectos más importantes de la cuenca relativos a la pluviosidad y relieve.

$$q_s = 2.65 \log(P/P_*) + 0.46 \log(C_o - 1.56) \quad (8)$$

Donde:

$P$  = Módulo pluviométrico anual

$P_*$  = Precipitación máxima del mes

$C_o$  = Coeficiente orográfico

El perfil longitudinal del tramo de entrega del río sufre constantemente modificaciones a medida que la sedimentación en el embalse sube de nivel (Mattos, R., 1992), lo que trae consigo la disminución de la pendiente longitudinal inmediatamente aguas arriba; y con ello, la disminución también de la capacidad de transporte del río en dicho tramo, lo cual facilita la deposición del material sólido.

Asimismo, para el transporte de sedimentos se seleccionó el modelo empírico unidimensional (8) de Meyer-Peter (Mattos, R., 1992) para la estimación de la capacidad específica de transporte de material sólido ( $Q_s$ :  $\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-1}$ ), por su simplicidad e incluir los parámetros hidráulicos más importantes de la sección representativa del tramo de entrega:

$$Q_s = 249.75 q^{2/3} S - 42.61 d_{sm} \quad (8)$$

Donde:

- $q$  = Caudal específico líquido de avenidas,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{m}^{-1}$
- $S$  = Gradiente hidráulico, adimensional
- $d_{sm}$  = Diámetro medio de sólidos, m.

El valor de la tasa pronóstico anual de sedimentación obtenida mediante este modelo, se contrasta con los valores de las tasas correspondientes a la batimetría y la del proyecto para explicar, en cierto modo, las causales de la colmatación prematura de la presa.

### **Sedimentación según modelo lineal basado en la batimetría**

Por falta de mayor información batimétrica, asumimos un modelo lineal (9) con base en la única batimetría (Abril, 1988) realizada después de los once primeros años de operación de la presa Gallito Ciego y tomando como origen el año de puesta en funcionamiento (Abril, 1988), lo cual permite estimar simplistamente la evolución post batimetría del proceso de sedimentación en el embalse.

$$V_s = 8.82 * 10^6 T \quad (9)$$

Donde:

- $V_s$  = Volumen sedimentado,  $\text{m}^3 \text{año}^{-1}$
- $T$  = Tiempo, años.

### **2.8. Compensación por Servicios Ambientales**

Los proyectos de grandes presas, como la del Gallito Ciego, deben ir acompañados necesariamente de programas de control de sedimentos en la cuenca, con lo cual se garantice la vida útil o económica proyectada; mucho más en cuencas con condiciones que favorecen la escorrentía directa, como es la cuenca del río Jequetepeque altamente degradable. Programas de control de erosión de suelos y de transporte de sedimentos que deben iniciarse, por lo menos, 10 años antes de la construcción física de las estructuras de embalse, tal como recomienda la Comisión Mundial de Represa (CMR).

Entre los componentes de los programas de control de sedimentos en cuencas reguladas destaca, casi siempre, la forestación y conservación de bosques naturales, que a la par de

controlar la erosión hídrica constituyen fuente importante de recarga de acuíferos, mejorando la calidad y cantidad de las aguas de usufructo en la cuenca. Esta fase de control de sedimentos, en el caso de la presa Gallito Ciego y demás presas construidas en el Perú, no ha sido tomada en cuenta, por lo que se plantea aquí dicha corrección para prolongar la agonía de la presa ya colapsada en forma temprana, antes de los 10 años de funcionamiento cuando una vida útil de 50 años.

Para efectos de la valoración económica del agua se plantea como que si el programa de forestación hubiese iniciado paralelamente al inicio de ejecución de obras del embalse, puesto que el criterio de equidad de pago por servicios ambientales no le da responsabilidad al usuario por malos criterios técnicos y políticos del proyecto.

El gráfico de frecuencia de altitudes de la cuenca da cuenta que aproximadamente un 40% del área total colectora, por encima de los 2950 msnm, son suelos con capacidad de uso forestal, por lo que la propuesta de este estudio considera la forestación de 140 000 ha, como una compensación por el uso del agua de la presa; lo que contribuirá a disminuir el aporte de sedimentos en un mínimo de 40% y un incremento sustancial del volumen de recarga de los acuíferos. Los efectos de la forestación como expresión de máxima capacidad del control de erosión hídrica y los ingresos económicos por este mismo concepto se estiman en unos 15 años, en adelante. El área de forestación propuesta sumada a la superficie forestada “Granja Porcón”, representa una superficie de 150 000 ha, un 44% del área colectora total, toda ubicada en la zona de mayor recepción de precipitaciones pluviométricas.

## ***2.7. Evaluación Financiera del Proyecto***

La evaluación financiera se realizó teniendo en consideración el costo total de la primera etapa del proyecto Jequetepeque-Saña, que comprende la construcción del dique de represamiento de la presa Gallito Ciego y las obras de infraestructura de riego (canal principal). La segunda y tercera etapas de este proyecto no se lograron ejecutar. La segunda etapa comprende la derivación del río Cajamarca y la construcción de un túnel trasandino de transvase (10.5 Km) de las aguas del río Cajamarca (vertiente del Atlántico) hacia la cuenca del río Jequetepeque (vertiente del Pacífico). La tercera etapa comprende la construcción del reservorio Polloc (Cuenca del río Cajamarca) y de la central hidroeléctrica de San Juan (cuenca del río Jequetepeque).

Al costo de la primera etapa se adiciona el costo del programa de forestación (plantaciones), bajo el supuesto que se ejecuta durante el tiempo que duró la ejecución de la primera etapa (6 años), como si fuese el año cero. Se supone, además, que la producción del bosque se inicia después de 15 años. Todo esto, tomando como referencia, los datos de costos y beneficios de bosques recogidos de las experiencias de la forestación Granja Porcón. Las experiencias de la forestación Granja Porcón, como modelo de gestión de manejo de cuenca, son dignas de réplica en otros espacios hidrológicos de esta misma cuenca (Jequetepeque).

Asimismo, la generación de energía hidroeléctrica se realiza aprovechando la misma agua que se usa para el riego, previa micro regulación después de ser turbinada.

El objeto de la evaluación financiera actual de este proyecto, con inclusión del programa de forestación, es el de persuadir que aún es factible su ejecución, no solo con la finalidad de aminorar la producción de sedimentos en la cuenca y, con ello, prolongar la vida física del embalse; sino también el de crear un mecanismo justo de compensación por el servicio ambiental hídrico que mejore el reservorio natural (sistema acuífero) duradero, a costa de un

reajuste tarifario por el aprovechamiento del agua desde un reservorio artificial de vida relativamente efímera.

## **2.9. Valoración Económica del Agua**

Económicamente hablando, el valor tarifario que actualmente tiene el agua de este proyecto no es el reflejo de la magnitud de tamaño inversión, todo lo contrario. A ello hay que agregar el no haber considerado, en la tarifa, el pago por servicios ambientales hídricos, a sabiendas de que la presa Gallito Ciego durara ría poco tiempo. Este aspecto se refleja en el despilfarro de agua al conservar el arroz como monocultivo ancestral, de baja rentabilidad y de excesivo consumo de agua (18 000 m<sup>3</sup>/ha).

Con los resultados de la evaluación económica, en lo concerniente al valor económico actualizado (VAN), se determina el costo de la tarifa, teniendo en consideración la cantidad de agua regulada en el represamiento.

Este asunto amerita un sinceramiento de tarifas donde se tenga en cuenta el costo de la inversión del proyecto, costos de operación y mantenimiento y el pago por el servicio ambiental hídrico. El Estado no puede darse el lujo de echar por la borda un recurso tan costoso, a lo sumo podría subsidiar parte del costo de la tarifa a los agricultores que, por su posición económica, se justifique.

## **II. RESULTADOS**

### **3.1. Características Locales**

De acuerdo a lo descrito en las características hidroclimáticas, el clima de la cuenca de estudio según criterio de Thornwaite, varía desde un *semihúmedo cálido* en la costa de la cuenca baja, hacia el Océano Pacífico (por debajo de los 1300 msnm), hasta un *seco muy frio* en la cuenca alta (por encima de 3000 msnm).

El estudio cartográfico da cuenta que la cuenca media y baja es extremadamente árida, de relieve agreste e irregular, donde la geología rocosa predominante en ambas vertientes del río Jequetepeque forman una especie de cañón determinando un estrecho valle inundable, que se desarrolla entre las localidades de Chilete y Tembladera, en un recorrido aproximado de 40 Km. Los afluentes más importantes del río Jequetepeque son, el río San Miguel, de caudal permanente, en la margen derecha. En la margen izquierda destacan los cauces naturales de régimen intermitente, con gran aporte de sedimentos, denominados: Qda. Huertas, río Contumazà, Qda. Chuquimango, Qda. Chausis y Qda. Caracol, en orden descendente de cota de entrega en la confluencia. Esta vertiente (derecha) se caracteriza por una marcada escasez de agua en estiaje y excesiva producción de sedimentos en temporada de avenidas.

La marcada aridez de la margen izquierda, con afluentes de régimen intermitente, imposibilita también realizar forestaciones masivas y, en este caso, el control de sedimentos de la presa Gallito Ciego debe basarse en pequeñas presas de retención de sedimentos localizadas en las subcuencas medias y bajas. El mayor aporte de esta vertiente es en esorrentía superficial o directa y una muy alta tasa de sedimentos.

En la vertiente derecha en cambio, la presencia del río San Miguel de caudal permanente, con una mayor superficie territorial receptora de precipitaciones es el mayor aportante de recurso hídrico en la cuenca y reúne condiciones ideales para una forestación masiva en la cuenca alta (por encima de los 3000 msnm), donde visiblemente destaca la forestación Granja Porcón que ocupa un área algo más de 10 000 hectáreas.

El contraste extremo en el comportamiento hidrológico de ambas vertientes estriba en que las subcuencas de la vertiente derecha se desarrollan a mayores altitudes que las de la vertiente izquierda. El mapa de isoyetas muestra este contraste de distribución espacial de precipitaciones en ambas vertientes y, hacia la costa y la sierra.

### 3.2. Balance Hidrológico y Oferta Hídrica

El modelo simplista de balance utilizado en este estudio se limita a la cuantificación de 3 componentes, la precipitación, como única componente de entrada, y las componentes de salida representadas por la evapotranspiración y escorrentía. Esta última componente involucra, a su vez, a la escorrentía directa o superficial y al flujo base, producto de la infiltración.

El promedio anual de las variables climáticas de la estación pluviométrica Weberbauer ha permitido determinar, empleando el criterio de Penman, la evapotranspiración potencial de la cuenca que se presenta en la Tabla 2. Dada la excesiva aridez en la mayor parte de la cuenca del río Jequetepeque, unido a la ausencia de vegetación permanente, se estima que la evapotranspiración real promedio es alrededor de un 12% de la evapotranspiración potencial; equivalente al coeficiente de uso consuntivo ( $K_c$ ) de la cuenca, con lo cual se obtiene un promedio multianual de la evapotranspiración real de 135 mm/año, tal como se aprecia en la Tabla 2.

**Tabla.2.-Promedio de Variables Climáticas Multianuales y Evapotranspiración Estimada por Método Penman- Estación Weberbauer-Cajamarca**

Mes	Temperatura (°C)	Hr (%)	Viento (Km/día)	Sol (horas)	Radiación (mm/día)	ETP (mm/día)	ETP (mm/mes)
Enero	12.3	66.7	74	5.0	4.0	3.2	96
Febrero	12.4	67.9	78	4.8	4.0	3.2	92
Marzo	12.3	67.4	60	4.9	3.9	3.1	93
Abril	12.3	67.7	54	5.4	3.7	2.9	87
Mayo	11.6	65.3	60	6.3	3.4	2.7	81
Junio	10.6	63.4	73	6.9	3.2	2.6	78
Julio	10.0	60.1	91	7.4	3.3	2.8	84
Agosto	10.8	58.9	101	6.9	3.7	3.2	96
Setiembre	11.8	61.2	98	5.8	3.9	3.3	99
Octubre	12.5	62.0	90	5.6	4.1	3.5	105
Noviembre	12.2	62.8	106	6.2	4.3	3.6	108
Diciembre	12.2	64.6	71	5.9	4.2	3.4	102
<b>ETP/Multianual (mm):</b>						<b>1121</b>	
<b>*ETR/Multianual (mm):</b>						<b>135</b>	

\*  $K_c = 0.12$

ETP= Evapotranspiración Potencial; ETR= Evapotranspiración real

Asimismo, el mapa de isoyetas permite advertir un contraste extremo de la distribución de precipitaciones en la cuenca, entre las vertientes izquierda y derecha y entre la costa y la sierra, con láminas muy altas a grandes altitudes (por encima de los 3000 msnm) y láminas prácticamente nulas hacia la costa. Estas condiciones determinan una baja lámina de distribución promedio en el área parcial de estudio de apenas 566 mm/año, donde todas las estaciones pluviométricas observadas se ubican por encima de los 800 msnm. La presa Gallito Ciego se localiza a una altitud de 380 msnm, donde la precipitación promedio multianual es alrededor de 230 mm/año, lo que

permite estimar una lámina de 400 mm/año como promedio multianual en toda la cuenca colectora de influencia de la presa.

Asimismo, la estadística de datos de descargas medias mensuales de los 67 años de información hidrométrica de la estación Ventanillas arroja un promedio multianual de 25.8 m<sup>3</sup>/s, equivalente a una lámina distribuida de escorrentía de 236.3 mm y un volumen de escorrentía total de 813.6288 millones de metros cúbicos (MMC) anuales; muy concordante, hidrológicamente (discrepancia, 10%), con el dato obtenido el balance de la Tabla3.

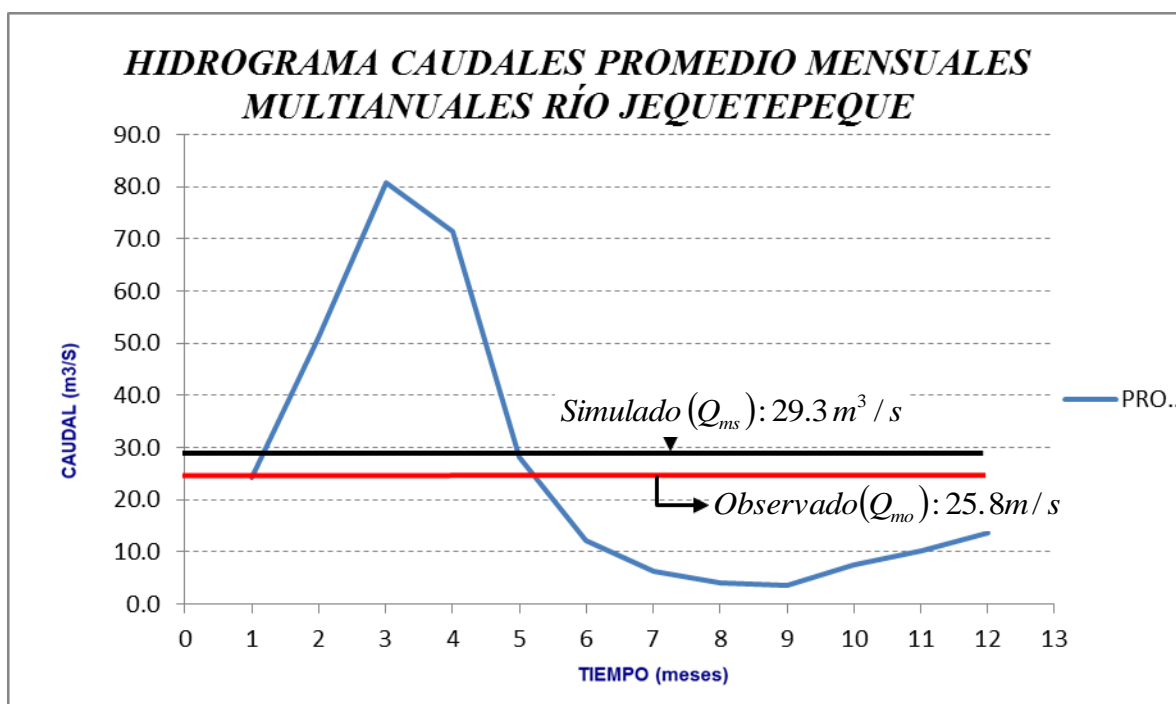


Fig. 4.-Hidrograma de descargas medias multianuales del río Jequetepeque (estación Ventanillas)

El gráfico de la Fig. 4, muestra la extrema variabilidad de las descargas promedio multianuales mensuales del río Jequetepeque, donde los máximos se relacionan con las frecuentes e intensas precipitaciones del periodo húmedo (Enero-Abril), mientras que los mínimos son la expresión de la marcada escasez de agua durante el periodo seco o de estiaje (Mayo-Diciembre); atribuyéndose al periodo húmedo como responsable de casi todo el proceso de erosión y de transporte de sedimentos.

Los datos presentados en la tabla 3, son el resultado de aplicación del modelo hidrológico de largo plazo.

Tabla 3. Oferta hídrica y balance hidrológico de cuenca del Río Jequetepeque-presa Gallito Ciego
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Área receptora-colectora (Km<sup>2</sup>): 3 443.07</li> <li>• Precipitación promedio (mm): 400/año (100%)</li> <li>• Evapotranspiración real, 135 mm: 464.8144 MMC*/año (33.8%)</li> <li>• Aporte hídrico total o escorrentía total, 265 mm: 912.4136 MMC*/año (66.2%)</li> <li>• Escorrentía directa, 185.5 mm: 638.6895 MMC*/año (70% de la escorrentía total)</li> <li>• Flujo base o infiltración, 79.5 mm: 273.7241 MMC*/año (30% de la escorrentía total)</li> </ul>

\*Millones de metros cúbicos (MMC).



El 70% de la escorrentía total, correspondiente a la escorrentía directa o superficial es índice de que la cuenca es altamente vulnerable a la erosión hídrica; mientras que el sólo un 30% de agua infiltrada; indica la extrema escasez de agua durante el estiaje. Esta extrema variabilidad de caudales es regulado mediante la presa Gallito Ciego, donde los excesivos caudales de escorrentía directa, que antes se perdían al mar, ahora se almacenan para aprovecharlos durante la escasez del estiaje. Incluso los excedentes, vertidos a través del aliviadero cuando la presa está llena, son totalmente aprovechables en riego, por cuanto el material sólido agresivo ha quedado retenido en el embalse y las grandes ondas de avenidas amortiguadas también.

### **3.3. Usos y Demanda del Recurso Hídrico**

Los usos más importantes del recurso hídrico en la cuenca de río Jequetepeque son el uso agrícola, tanto aguas arriba como aguas abajo de la presa, y la generación de energía hidroeléctrica a la salida del agua del embalse. Sin embargo, la mayor cantidad de tierras con potencial agrícola productivo, se ubican aguas abajo de la presa en los departamentos de La Libertad y Lambayeque; con alrededor de 65, 000 ha de terrenos habilitados y más de 100 000 ha sin habilitar.

Las tierras agrícolas bajo riego, aguas arriba de la presa son mínimas y limitadas a estrechos y reducidos valles interandinos inundables del río Jequetepeque y de sus afluentes de la margen derecha principalmente (en especial, el río San Miguel) de las cuencas media y baja; correspondiendo el resto a cultivos de secano y pastos naturales de la cuenca alta.

Los cultivos principales, aguas arriba de la presa, en la cuenca media y baja (por debajo de los 1600 msnm) son: caña de azúcar, arroz, maíz, yuca, camote, mango, uva, chirimoya, palta, plátano, mamey, ciruela y, otros cultivos menores. En cambio, en la cuenca alta, los cultivos principales están representados por: trigo, cebada, alverja, habas; papa, olluco, arracacha, entre otros cultivos menores; la mayor parte de cultivos de la cuenca alta se producen al secano y son de pan llevar y de autoconsumo.

Consecuentemente, los cultivos bajo riego producidos a gran escala se ubican aguas abajo de la presa, con una primera campaña de cultivo de arroz (una campaña/año) y una segunda restringida a mínimas áreas de cultivos de arroz y maíz amarillo duro. El cultivo bandera, mejor dicho el monocultivo, es el arroz en un 90%; y otros cultivos menores (maíz) y frutales, entre los que destaca el mango.

En este estudio es de especial interés, como es obvio, la demanda de agua de los cultivos que se ubican aguas abajo de la presa, por constituir una agricultura intensiva de relevancia en el mercado nacional. Bajo este escenario, las demandas y ofertas del recurso hídrico, aguas abajo de la presa, son las consignadas en la Tabla 4.

Para el cálculo de la demanda se tendrá en cuenta el hecho de que el cultivo de arroz ocupa más del 95 % del área cultivada y, que el consumo de agua de este cultivo es 18 000 m<sup>3</sup>/ha, según estudios de investigación realizados en el norte peruano.

Además, para la estimación del área con riego permanente se tiene en consideración que toda la escorrentía directa es aprovechable más un 60% de flujo base, por las razones ya explicadas anteriormente.

**Tabla 4.- Demanda y oferta hídrica anual aguas abajo de la presa Gallito Ciego**

- **Uso agrícola**

Área de tierras agrícolas habilitadas: 65 000 ha  
Consumo de agua, cultivo de arroz\*: 18 000 m<sup>3</sup>/ha  
Demanda total: 1 170 MMC/campaña  
Volumen regulable de operación presa Gallito Ciego: 400 MMC  
Excedente de escorrentía directa aprovechable: 238.6895 MMC (pasa a través del vertedor de excedencias)  
Flujo base (60%): 164.2345 MMC/año  
**Total de agua aprovechable: 802.9240 MMC**

- **Generación de energía hidroeléctrica**

Agua turbinada: 400 MMC/año  
Producción de energía: 34 MW

\*Unidad de estudios económicos-APEAR

Se considera justificable que un 60% del flujo base del río descarga a la presa Gallito Ciego, sobre todo en periodo húmedo, siendo sólo un (40 %) utilizado aguas arriba de la presa, por cuanto los flujos de retorno del agua utilizada aguas arriba van a parar finalmente a dicho embalse.

El agua de uso en generación de energía hidroeléctrica solo está limitada a la cantidad regulable en la represa (400 MMC), mientras que los excedentes evacuados a través del vertedor de excedencias, si bien es cierto no generan energía, son aprovechados íntegramente en riego. Esto, debido a que la demanda es siempre muy superior a la oferta hídrica en todo tiempo; existiendo siempre un fuerte déficit de agua.

El íntegro del agua que ingresa y sale de la presa, aun estando llena, reúne todas las condiciones de uso para el riego; pues allí es donde queda todo el material de arrastre y se atenúan todas las ondas de avenidas, como ya se comentó antes.

Se observa que, en todo tiempo, las demandas son siempre muy superiores a las ofertas hídricas; por lo que siempre será una cuenca deficitaria de agua, aun cuando la presencia de la presa Gallito Ciego ha eliminado las pérdidas de antaño, impidiendo hoy que las aguas del río lleguen al mar. Sin embargo, el derroche del agua de aplicación persiste al usar el arroz como monocultivo, de muy alto consumo de agua y pobre rentabilidad, lo que no se justifica técnicamente.

### **3.4. Balance Hídrico Oferta-Demanda Aguas Abajo de la Presa**

En realidad la demanda, aguas abajo de la presa, es muy grande por la cantidad de tierras con potencial agrícola productivo disponibles. Sin embargo, en este análisis la demanda de agua se reduce sólo a la cantidad de tierras habilitadas para el riego, que son alrededor de 65 000 ha, teniendo como monocultivo al arroz.

En este estudio es de especial interés, como es obvio, la demanda de agua de los cultivos que se ubican aguas abajo de la presa, por constituir una agricultura intensiva de relevancia en el mercado nacional. Se considera aquí, como se manifestó antes, que toda el agua de escorrentía directa (flujo de avenidas) es aprovechable, por cuanto la presencia de la presa, además de amortiguar las ondas de avenidas (volumen de superalmacenamiento) estando llena, se comporta también como un gran sistema de sedimentación; de tal modo que las aguas que abandonan el embalse a través del vertedor de excedencias son totalmente aptas para el riego.

**Tabla 5.- Balance hidrológico aguas abajo de la presa Gallito Ciego**

- **Disponibilidad (oferta)**

Escorrentía directa: 638.6895 MMC/año (regulada, 4000 MMC)

Flujo base (60%): 164.2345 MMC/año

**Total disponible: 802.9240 MMC/año (400 MMC, regulables)**

- **Requerimiento hídrico**

Demanda agrícola: 1 170 MMC/campaña\*

- **Déficit: - 367.0760 MMC**

\*La disponibilidad de agua no alcanza siquiera para cubrir el 100% de la totalidad de tierras de una campaña

Los excedentes, evacuados a través del vertedor, se suceden casi siempre a mediados o fines del periodo húmedo (Enero a Marzo), por lo que también son utilizados en una sola campaña principal.

### 3.5. Sedimentación de la Presa Gallito Ciego

#### Predicción de caudales líquidos y sólidos

La simulación del modelo probabilístico de Gumbel, calibrado con una muestra de 67 años de descargas máximas anuales (estación Ventanillas), ha permitido el pronóstico de las descargas máximas que se presentan en el Cuadro N°1. Estas descargas máximas son consecuencia de avenidas de escorrentía directa, las que conducen todo el material sólido erosionado desde la cuenca hasta el embalse de la presa, donde quedan depositados finalmente.

Se seleccionó el caudal líquido promedio (incertidumbre 50%) de transporte de sedimentos de 1 107 m<sup>3</sup>/s, ligado al periodo de 50 años consecutivos (vida útil de la presa Gallito Ciego) y 72 años de tiempo de retorno, con lo cual se obtuvo mediante el criterio Meyer-Peter una tasa de sólidos de entrega total de 8.4 MMC/año, habiendo considerado además un 80% de la capacidad de transporte del tramo de entrega al embalse y un régimen hidrológico normal de 90 días efectivos de avenidas con capacidad de transporte de sedimentos; tiempo lo suficientemente estimado como para compensar también los efectos severos de los probables fenómenos de El Niño que pudieran ocurrir durante el funcionamiento de la presa.

Los resultados de la única batimetría realizada hasta hoy (Abril, 1999), luego de 11 años de funcionamiento de la presa Gallito Ciego, dan testimonio que se tiene acumulado en el embalse un volumen total de sedimentos ascendente a 97 MMC (Tabla 1), lo que representa una tasa real promedio de entrada al embalse de 8.82 MMC; valor bastante concordante con la cifra de pronóstico anterior obtenida mediante el criterio de Meyer-Peter (8); pero que discrepa enormemente con la tasa prevista en el diseño de 1.70 MMC/año.

La cantidad de sedimentos encontrada en la batimetría (97 MMC), supera ampliamente el volumen muerto de la presa, considerado en 85 MMC, el mismo que está relacionado íntimamente al periodo de vida útil de 50 años. Este resultado indica que vida útil de la presa terminó alrededor de los 10 años, a partir del cual se inició la invasión de sedimentos al volumen útil o de operación, el que continuará reduciéndose cada año hasta su colmatación total, tal como se aprecia en la Tabla 5.

Debe tenerse presente que, en el caso de grandes presas, la remoción y eliminación del material sólido sedimentado es imposible, por los altos costos que eso representa. Por ello, todas las grandes presas del mundo están exentas de mantenimiento y, en consecuencia, su vida útil termina cuando la cantidad de sedimentos en el embalse equipara a su volumen muerto previsto para almacenar sedimentos durante todo el horizonte económico del proyecto, en cuyo periodo debe retornar toda la inversión actualizada. Este detalle obliga a tener un plan muy estricto de control de sedimentos en la cuenca y a realizar batimetrías periódicas del embalse para estudiar la evolución de la sedimentación y tomar las medidas correctivas del caso. En la presa Gallito Ciego, no se ha tenido en consideración estos aspectos y las consecuencias económicas son desastrosas.

Los resultados de la única batimetría (Abril, 1999) en la presa Gallito Ciego sólo han servido para testificar el colapso temprano de dicha presa, no habiéndose tomado hasta hoy ninguna medida para el control de sedimentos. Pues, la interrupción brusca del horizonte económico proyectado primigeniamente a 50 años, y reducido a tan sólo 10, habrá ocasionado ingentes pérdidas económicas para el país.

La importancia del estudio de máximos caudales de esta cuenca estriba en que éstos están asociados al transporte de todo el material sólido proveniente de la cuenca, el mismo que queda depositado finalmente en el embalse, que sin querer funciona como un gran sedimentador. Estos caudales extraordinarios, antes de la construcción del embalse, provocaban grandes inundaciones de los terrenos agrícolas aguas abajo, aspecto que ha sido totalmente controlado con la presencia de la presa. Pues la capacidad del embalse de 86 MMC, destinados a la retención momentánea de masas líquidas de las grandes avenidas (cuando la presa está completamente llena) protege eficazmente contra cualquier inundación. Este último aspecto es una de las grandes virtudes de esta presa.

El hecho de comportarse este embalse (presa Gallito Ciego) como gran sedimentador y excelente amortiguador de avenidas extraordinarias, tiene la virtud de que la totalidad del agua de escorrentía directa, que antes iba a parar al mar, hoy es utilizada íntegramente para el riego. Estas aguas son controladas en el vaso de almacenamiento y evacuadas a través del vertedor de excedencias o aliviadero.

Se puede apreciar (Cuadro N° 1) en general que, para cierto número de años consecutivos (N), el mayor caudal tiene menor probabilidad de ocurrencia y mayor tiempo de retorno y, crece mientras crece el periodo de años consecutivos. Este aspecto resulta muy importante en la planificación de la operación del embalse.

De otro lado, el agua evacuada a través del vertedor de excedencias (cuando la presa está completamente llena) no se usa para la generación de energía hidroeléctrica, pero es usada íntegramente para el riego por ser la demanda, aguas abajo de la presa, muy superior a la oferta.

**Cuadro N° 1. Simulación del modelo Gumbel para descargas máximas anuales de Río Jequetepeque (estación hidrométrica Ventanillas)**

Número de años consecutivos "N"	J (%)	Tr	CUADALES MÁXIMOS (m <sup>3</sup> /seg)
2	5	40	977.48
	15	13	726.16
	30	6	546.42
	50	3	371.91
	75	2	254.84
	90	1.5	154.28
5	5	98	1174.78
	15	31	921.02
	30	15	758.60
	50	8	614.42
	75	4	446.48
	90	3	371.91
10	5	196	1326.68
	15	62	1074.16
	30	29	906.21
	50	15	758.60
	75	8	614.42
	90	5	502.31
25	5	488	1526.18
	15	154	1273.87
	30	71	1103.98
	50	37	960.24
	75	19	811.83
	90	11	688.05
50	5	975	1677.41
	15	308	1425.57
	30	140	1252.99
	50	72	1107.06
	75	37	960.24
	90	22	844.65
100	5	1950	1828.81
	15	616	1577.09
	30	281	1405.50
	50	145	1260.68
	75	73	1110.09
	90	44	998.55

N= Número de años consecutivos  
 J= Incertidumbre o probabilidad de falla  
 Tr= Tiempo de retorno

### *Sedimentación de la presa Gallito Ciego*

Los resultados de la simulación del proceso de sedimentación del embalse de la presa Gallito Ciego, mediante la aplicación del modelo lineal (9) fundado en la única batimetría existente (Abril, 1999), se presentan en la Tabla 5. Con este modelo se prevé que al término del presente año (2003) el volumen sedimentado en el embalse habrá alcanzado una cifra alrededor de los 220 MMC, con lo cual el volumen útil o de operación se habrá visto reducido en 135 MMC (33.8%); y con ello, este volumen se habrá reducido a sólo 265 MMC de los 400 MMC disponibles en un inicio. Este progreso de la sedimentación continuará al mismo ritmo hasta la "muerte física" del embalse (colmatación total), alrededor de los años 2040.

Como se observa (Tabla 5), hasta el año 1998 (apenas 10 años después de entrar en funcionamiento) ya se tenían acumulados en el embalse 88.20 MMC de sedimentos, cuando en realidad se esperaba que el volumen de 85 MMC (volumen muerto) recién iba a ser superado, como mínimo, después del año 2038 (vida útil, 50 años). Pues, de este modo, el flujo de caja preparado para dicho horizonte (50 años), de pronto se vio distorsionado totalmente con un colapso prematuro inesperado. Esta falla se debió, entre otros aspectos, posiblemente a la deficiencia de los estudios sedimentológicos y/o a la falta del plan de control de sedimentos, entre ellos el programa de forestación, recomendado por la Comisión Mundial de Represas (CMR). La recomendación, se refiere a que la construcción de grandes presas debe ir acompañada necesariamente de un plan de control de sedimentos en la cuenca y monitoreo, el que debe iniciarse unos 10 años antes de la ejecución física de las obras o cuanto menos empezar simultáneamente con ello. La etapa de construcción de una presa grande toma aproximadamente entre 5 y 8 años, tiempo suficiente también para llevar adelante el plan de control.

**Tabla 5.- Proceso de sedimentación de la presa Gallito Ciego – Perú, según modelo lineal derivado de los resultados de la batimetría**

AÑOS	Tiempo de vida (años)	Volumen de sedimentos (MMC)	Volumen Sedimentos Acumulado (MMC)	Volumen Muerto (MMC)	Observaciones
<b>1988</b>	-	-	-		<b>Inicio de operación del embalse.</b>
1990	2	17.64	17.64		
1992	4	17.64	35.28		
1994	6	17.64	52.92		
1996	8	17.64	70.56		
<b>1998</b>	<b>10</b>	<b>17.64</b>	<b>88.20</b>	<b>&gt; 85</b>	<b>Final de la vida útil real (muy prematuro).</b>
2000	12	17.64	105.84		
2002	14	17.64	123.48		
2004	16	17.64	141.12		
2006	18	17.64	158.76		
2008	20	17.64	176.40		
2010	22	17.64	194.04		
2012	24	17.64	211.68		
2014	26	17.64	229.32		
2016	28	17.64	246.96		
2018	30	17.64	264.60		
2020	32	17.64	282.24		
2022	34	17.64	299.88		
2024	36	17.64	317.52		
2026	38	17.64	335.16		
2028	40	17.64	352.80		
2030	42	17.64	370.44		
2032	44	17.64	388.08		
2034	46	17.64	405.72		
2036	48	17.64	423.36		
<b>2038</b>	<b>50</b>	<b>17.64</b>	<b>441.00</b>		<b>Final de la vida útil proyectada</b>
2040	52	17.64	458.64		
2042	54	17.64	476.28		
<b>2043</b>	<b>55</b>	<b>8.82</b>	<b>485.10</b>		<b>Final de la vida física</b>

El fundamento de la CMR, en cuanto al plan de control de sedimentos, es que los costos excesivos que demandan las grandes presas - aproximadamente, de 2 a 3 millones de Dólares por cada millón de metros cúbicos de volumen útil - son irrecuperables si no se cumple con el horizonte económico o vida útil proyectada, y donde los más afectados son los países en vías de desarrollo. Lo que implica también tácitamente que estos proyectos tienen que ser necesariamente de largo plazo, incluso más de 100 años para ser beneficiosos.

El fracaso de las grandes presas, como la del Gallito Ciego, afecta como es obvio a los países más pobres, convirtiéndolos en más pobres aún, como consecuencia de las excesivas pérdidas económicas.

Las experiencias negativas de las grandes presas del mundo, hacen que estos proyectos se conviertan en cada vez más costosos por las exigencias en ciertas medidas complementarias para resarcir daños y disminuir riesgos económicos, sociales y ambientales. Estos adicionales son hoy en día, el *plan de control de sedimentos*, *plan de desmantelamiento* y *plan de mitigación de impactos ambientales negativos*, recomendados por la CMR y cuyos costos deben plasmarse en el presupuesto del proyecto.

### 3.6. Evaluación Financiera del Proyecto

La evaluación financiera de las grandes presas, como cualquier proyecto de ingeniería, está referida al horizonte o vida económica del proyecto. Horizonte que, por estar asociado íntimamente al retorno de la inversión, debe cuidarse muy celosamente de su cumplimiento como tal. Lo que debe estar respaldado con un adecuado plan de monitoreo (batimetrías) y de control de sedimentos.

La evaluación financiera se realizó sobre la base de los ingresos y costos y beneficios del proyecto especial Jequetepeque-Saña. En cuanto a los costos, se ha introducido el programa de forestación, muy importante en este tipo de proyectos como se comentó antes, pero que lamentablemente en este caso ha sido obviado, con consecuencias económicas desastrosas. Para la evaluación y valoración equitativa del agua, suponemos que la inversión se realizó conjuntamente con la ejecución física de obras de la primera etapa del proyecto, la misma que consistió en la construcción del dique de represamiento e infraestructura de riego (canal principal), cuyo proceso duró 6 años.

Los costos y beneficios, en relación al programa de forestación, han sido tomados de las experiencias vividas en el proyecto de forestación Granja Porcón, desarrollado con mucho éxito en la cabecera de la microcuenca del río Tinte de esta misma cuenca, materia del presente estudio (cuenca del río Jequetepeque).

Como se manifestó antes, para fines de la evaluación económica, se supone aquí que la inversión en el programa de forestación se realizó simultáneamente con la construcción de las obras del dique e infraestructura de riego (canal principal) de la primera etapa del proyecto, la misma que duró 6 años. La Comisión Mundial de Represas (CMR), en su informe del año 2000, recomienda que el programa de manejo de cuenca con fines de control de sedimentos debe iniciarse unos 10 años antes de la ejecución física del dique de represamiento o cuando menos junto con ello. En el caso de la presa Gallito Ciego, el haber prescindido de tan importante programa, la naturaleza se ha encargado de pasar esa factura, que aún queda tiempo para pagar a fin de prolongar un poco más la vida física y con ello algunos beneficios.

Cuando se habla aquí de vida económica y vida física; la primera es para referirse estrictamente al horizonte de retorno de la inversión, termina al quedar colmatado totalmente el volumen muerto y, depende de la tasa de sedimentación. En cambio, la vida física termina con la colmatación total del volumen útil o de operación. Metafóricamente hablando, las grandes presas tienen naturalmente una “*muerte económica*” y una “*muerte física*”.

La evaluación de costos y beneficios del proyecto especial Jequetepeque-Saña, teniendo a la presa Gallito Ciego como obra principal, en la Tabla 6 y Tabla 7.

<b>Tabla 6.- Costos Proyecto Especial Jequetepeque-Saña, Presa Gallito Ciego</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Costo Proyecto Especial Jequetepeque-Saña</b></li> </ul> <p><b>Primera Etapa</b></p> <p>Costo de presa e infraestructura de riego: \$ 300'000 000            Costos de operación y mantenimiento (10%): \$ 600 000/año (vida útil proyectada, 50 años)  <b>Costo año cero: \$ 300'000 000</b>  <b>Costo resto de años: \$ 600 000/año</b></p> <p><b>Programa de forestación (propuesta)</b></p> <p>Área de forestación: 140, 000 ha            Costo de forestación: \$ 1 300/ha            Costo total de forestación: \$ 182' 000, 000 (Dólares US)*            Costo de conservación del bosque (5%): \$ 182 000/año  <b>Costo año cero: \$ 182'000, 000</b>  <b>Costo resto de años: \$ 182 000/año</b></p>
<p><b>Total costos año cero: \$ 482'000 000 (Dólares US); Resto de años: \$ 782 000/año (Dólares US)</b></p>

En cuanto a los ingresos del sector agrícola, aguas abajo de la presa Gallito Ciego, se determinaron teniendo como monocultivo el arroz, que cubre más del 95% de las áreas agrícolas sembradas. Adicionalmente se ha considerado un 10% de otros ingresos agrícolas menores, especialmente en la segunda campaña, por concepto de otros productos tales como, maíz amarillo duro, camote, cebolla y frutales.

Los ingresos del sector energía se determinaron teniendo en cuenta que la generación hidroeléctrica de la central Gallito Ciego utiliza la misma agua destinada al riego, siendo obligada primero a pasar por las turbinas de la planta, antes de su uso en el riego.

Los ingresos por concepto de producción del bosque (propuesta), se consideran sólo un 30% aprovechable y un tiempo para el inicio de la producción más allá de los 15 años, de acuerdo con las experiencias del proyecto de forestación Granja Porcón, desarrollado en una de las microcuencas de la cabecera de esta misma cuenca de estudio.

Para la estimación del área de riego permanente se ha considerado la disponibilidad de agua total de 802.9240 MMC, conformada por el íntegro de la escorrentía directa más el 60% del flujo base. Pues no obstante de que el embalse sólo regula 400 MMC, el excedente que abandona el vertedor de excedencias de la presa también es un agua que reúne todas las para ser usada en riego, al estar libre de sedimentos y las ondas de avenidas atenuadas en dicho embalse. Este criterio, unido al consumo de agua del cultivo de arroz en el norte peruano (18,000 m<sup>3</sup>/ha.), nos arroja un área de riego de aproximadamente 44,600 ha, tal como se aprecia en la Tabla 7.



**Tabla7.- Ingresos Proyecto Especial Jequetepeque-Saña, Presa Gallito Ciego**

- **Ingresos sector agrícola**

Área con riego permanente: 44 600 ha (equivalente a una sola campaña)

Productividad arroz: 8000 Kg/ha

Precio arroz en chacra: S/. 1.15/Kg

Sub total ingreso: S/. 410`320 000/año; equivalente a: \$ 153` 390, 654 (Dólares US)/año\*

Otros ingresos (10%): S/. 41`032 000/año; equivalente a: \$ 15` 339, 065 (Dólares US)/año\*

**Total ingresos: S/. 451`352 000/año; equivalente a: \$ 168` 729, 720/año (Dólares US)/\***

- **Ingresos sector energía**

Producción hidroeléctrica central Gallito Ciego: 34 Mw

Precio de mercado: S/. 17.03/Kw-mes

**Total ingreso/año: S/. 6`948 240/año; equivale a: \$ 2`597 473 (Dólares US)/año\***

- **Ingresos por bosque (propuesta)**

Área de bosque: 140 000 ha

Producción del bosque: \$ 3 800/ha (considerando sólo el 30% aprovechable, después de 15 años)

**Total ingreso/año: \$ 159`600 000/año (Dólares US)\***

**Total ingresos año cero:0 00; Ingresos resto de años: \$ 330`927 193/año (Dólares US)**

\*Cambio a la fecha (16-10-2013): 1 Dólar US=2.675 Nuevos Soles

Los resultados de la evaluación económica de costos y beneficios del proyecto especial Jequetepeque – Saña, considerando la propuesta del bosque, se presentan en la Tabla 8.

**Tabla 8.- Evaluación Financiera del Proyecto Especial Jequetepeque-Saña (Dólares\*)**

Horizonte	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	.....	Año 15	Año 16	Año 17	.....	Año 50
<b>COSTOS</b>										
Presa e infraestructura de riego	300000000									
Operación y mantenimiento		600000	600000	600000	600000	600000	600000	600000	600000	600000
Forestación	182000000									
Conservación bosque		182000	182000	182000	182000	182000	182000	182000	182000	182000
<b>TOTAL COSTOS</b>	<b>482000000</b>	<b>782000</b>	<b>782000</b>	<b>782000</b>	<b>782000</b>	<b>782000</b>	<b>782000</b>	<b>782000</b>	<b>782000</b>	<b>782000</b>
<b>INGRESOS</b>										
Venta arroz		153390654	153390654	153390654	153390654	153390654	153390654	153390654	153390654	153390654
Venta de otros productos (10%)		15339065	15339065	15339065	15339065	15339065	15339065	15339065	15339065	15339065
Venta energía		2597473	2597473	2597473	2597473	2597473	2597473	2597473	2597473	2597473
Venta madera							159600000	159600000	159600000	159600000
<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>00</b>	<b>171327192</b>	<b>171327192</b>	<b>171327192</b>	<b>171327192</b>	<b>171327192</b>	<b>330927192</b>	<b>330927192</b>	<b>330927192</b>	<b>330927192</b>
<b>BENEFICIOS NETOS</b>	<b>-482000000</b>	<b>170545192</b>	<b>170545192</b>	<b>170545192</b>	<b>170545192</b>	<b>170545192</b>	<b>330145192</b>	<b>330145192</b>	<b>330145192</b>	<b>330145192</b>
<b>Tasa descuento: 18%</b>										
<b>VAN: 539057166</b>										
<b>TIR: 36%</b>										

\*1Dòlar=2.675 Nuevos Soles (16-10-2013)

Consecuentemente, el análisis financiero (Tabla 8) basado en el horizonte de 50 años (vida útil o vida económica del proyecto), demuestra que el proyecto es rentable con una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 36%, mayor que la tasa de descuento de 18%, y un Valor Actual Neto (VAN) positivo (\$ 539 057 166).

Asimismo, la simulación de la evaluación económica del proyecto, sin bosque, arroja un VAN de \$ 709 928 386 y un TIR de 57%, para las mismas condiciones de tasa de descuento (18%), y horizonte económico (50 años), lo que demuestra que esta alternativa también es rentable; siempre y cuando no haya colapso prematuro.

### 3.6. Valoración económica del agua

Teniendo en cuenta el VAN del análisis financiero anterior (Tabla 8), la proyección de 50 años (vida útil del proyecto), y considerando además que la presa Gallito Ciego regula 400 MMC cada año hidrológico normal, entonces el costo unitario del agua es de \$ 0.02695/m<sup>3</sup> o el equivalente de \$ 27 (Dólares US) por cada 1 000 m<sup>3</sup> de agua regulada. Valor que discrepa con la tarifa promedio actual de \$ 4 (Dólares US) por cada 1000 m<sup>3</sup> (Resolución Administrativa N° 571-99-MA-ATDR-Diciembre, 1999).

En consecuencia, como quiera que la vida económica de la presa se ha reducido a sólo a un quinto de la cifra proyectada, el costo del agua obviamente debería incrementarse en 5 veces el costo calculado anterior.

De otro lado, la simulación de la evaluación económica del proyecto, sin bosque, arroja un valor económico del agua de \$ 0.03550/m<sup>3</sup>, mayor que para la alternativa con bosque. Lo que demuestra que, a largo plazo, los beneficios que aporta el bosque son importantes.

### III. DISCUSIÓN

- Las características locales de la cuenca, donde priman condiciones adversas de extrema aridez (cuenca media y baja), topografía de relieve irregular y escarpado, suelos inestables, escasa cobertura vegetal, con un área de cabecera receptora de precipitaciones (85%) limitada a un 40% del área total; determina una cuenca con potencial altamente degradable a la erosión hídrica. Asimismo, la extrema variabilidad temporal y espacial de las precipitaciones pluviales, desde láminas casi nulas a nivel del mar (costa), hasta altas láminas de cabecera (a más de 3000 msnm), determina una baja lámina distribuida multianual alrededor de 400 mm/año.
- Las características locales, antes descritas, además de crear altos niveles de evapotranspiración potencial, determinan también una amplia variabilidad extrema de caudales de escorrentía, determinando un régimen muy intermitente, con valores de caudales observados (Estación hidrométrica de Ventanillas) casi nulos en estiaje (hasta de 5 l/s) hasta caudales de 1600 m<sup>3</sup>/s en el periodo lluvioso (Enero a Marzo). Esta extrema variabilidad también se refleja en los caudales promedio multianuales de los 67 años de información, que van desde 3.6 m<sup>3</sup>/s en estiaje crítico (Septiembre) hasta 80.8 m<sup>3</sup>/s en época de máximas avenidas (Marzo). El promedio inferior influenciado por los bajos caudales de estiaje y el superior por los altos caudales de avenidas; y en suma, una cuenca con alta vulnerabilidad a la degradación hídrica durante periodo húmedo y escasez acentuado del recurso hídrico en estiaje.
- Los bajos caudales promedio del periodo de estiaje son consecuencia de la pobre infiltración del agua de lluvia en esta cuenca, debido a la ausencia de áreas de bosques importantes, tipo de suelos y geología poco favorables. Las intensas precipitaciones, y escasa infiltración da origen a grandes láminas de escorrentía superficial, encargadas del transporte de todo el material sólido erosionado desde la cuenca hasta la presa Gallito Ciego. Este comportamiento la tienen casi todas las cuencas de la vertiente del Pacífico. El alto potencial degradable de estas cuencas, los convierte en no aptas para la construcción de grandes presas en las cuencas bajas, al menos que se ponga en marcha previamente programas agresivos de control de sedimentos, tal como recomienda la Comisión Mundial de Represas (CMR).
- La alta tasa de sedimentos observada de 8.82 MMC, como resultado de la primera batimetría de la presa Gallito Ciego (Abril, 1999), luego de 11 años de funcionamiento, contrasta en gran medida con la de 1.70 MMC prevista en el diseño. Este hecho demuestra deficiencia en los estudios sedimentológicos y/o irresponsabilidad el no haber puesto en marcha el plan de control de sedimentos mediante forestación masiva, presas de retención de sedimentos y otros sistemas de control.
- El programa de forestación, considerado aquí en la evaluación financiera del proyecto especial Jequetepeque- Saña, contribuye no sólo invitar a corregir una de las grandes debilidades de este tipo de proyectos en el Perú; sino también a crear conciencia

acerca de la retribución a la naturaleza por los servicios ambientales hídricos prestados. Pues, las 140 000 hectáreas de bosque que se plantea, un poco más de 40% del área total de la cuenca, no sólo contribuye a disminuir el aporte de sedimentos a la presa, sino que permitirá mejorar la calidad y cantidad del recurso hídrico en la cuenca mediante la recarga sostenible del sistema acuífero, más allá de la muerte física de la presa.

- El valor económico del agua de esta presa, estimado en aproximadamente \$ 27 (Dólares US) por cada 1,000 m<sup>3</sup>, incluye indirectamente el pago por servicios ambientales hídricos, el mismo que debe ser incluido obligatoriamente en las tarifas de agua, siempre y cuando, como es obvio, los programas de forestación se inicien conjuntamente con la ejecución física de las obras del proyecto, cuya duración toma un tiempo estimado entre 5 a 8 años. En este caso, en que se ha prescindido del programa de forestación; es factible aún su ejecución antes que termine la vida física de la presa, esperada alrededor de los años 2040, mediante un reajuste tarifario.
- El valor económico del agua, con y sin proyecto de forestación, son \$ 27 y \$ 35 (por cada 1000 m<sup>3</sup>), respectivamente; lo cual indica que el bosque aporta impotentes beneficios a largo plazo, cuya repercusión es una baja en la tarifa. En general, pues cuanto mayores sean los beneficios del proyecto en el horizonte económico, el costo de la tarifa disminuye.
- La presa Gallito Ciego redujo su vida útil de 50 a 10 años por falta de un programa de control de sedimentos en la cuenca. La reducción de este horizonte económico, sin duda, ha ocasionado grandes pérdidas económicas al país.
- Las bajas tarifas que actualmente se pagan por el uso del agua de riego, de apenas \$ 4 por cada 1000 m<sup>3</sup>, no reflejan el alto costo de inversión de la presa. Esto, debido a que la Junta de Usuarios fija las tarifas sólo teniendo en consideración el presupuesto anual de gastos administrativos y de servicios, mas no tiene en cuenta para nada el flujo económico actualizado de retorno de la inversión.

#### **IV. CONCLUSIONES**

- Las cuencas con condiciones altamente vulnerables a la erosión, como la del río Jequetepeque, no son aptas para regulaciones mediante grandes presas, al menos que se adopten severas medidas de control de sedimentos que se inicien mucho antes de construir los embalses. Plan de control de sedimentos que debe incluir, entre otros aspectos, forestaciones masivas dominantes en el área recetora de precipitaciones de la cuenca alta, y presas de retención de sedimentos en la cuenca media baja.
- El horizonte económico o vida útil de la grandes presas es muy sensible a la tasa de entrega de sedimentos al embalse; lo cual obliga a poner en práctica un severo plan de monitoreo y de control de sedimentos.
- El costo excesivo de las grandes presas - estimado entre 2 a 4 millones de Dólares por cada millón de m<sup>3</sup> de volumen útil - incrementado por las exigencias técnicas modernas de acciones complementarias referentes a planes de control de sedimentos, mitigación de impactos ambientales negativos y desmantelamientos, hace que su uso sea casi imposible o esté limitado sólo a países desarrollados.

- Las tarifas reales de agua de las grandes presas son las más altas del mercado, por lo que su uso debe estar limitado a actividades de alta productividad y rentabilidad. Las tarifas deben ser el reflejo de las inversiones tanto en los sistemas de regulación (presas) como en los planes complementarios (control de sedimentos, mitigación de impactos ambientales negativos, desmantelamientos), donde el pago por servicios ambientales hídricos debe estar incluido en la tarifa.
- Mientras mayores sean los beneficios del proyecto, menores son las tarifas; lo cual implica que los proyectos multiobjetivos son los que mejor se comportan, económicamente hablando.
- La gerencia y administración de la operación de las grandes presas tiene que estar necesariamente a cargo de organismos autónomos y auto sostenibles que ponga en marcha tarifas sinceradas acorde con la inversión y pagos por servicios ambientales hídricos; para lo cual se requiere de un marco jurídico y legal específicos. El Estado, a lo sumo, puede subsidiar parte de las tarifas a los usuarios que, por su posición económica, se justifique.
- Por la excesiva inversión pública que demandan las grandes presas, su administración no puede delegarse a una Junta de Usuarios, porque pondría en riesgo el retorno de la inversión en el horizonte del proyecto, al convertirse en una especie de juez y parte. Es el caso de la presa Gallito Ciego, donde la administración a través de la Junta de Usuarios fija las tarifas en base a presupuestos sólo para cubrir gastos administrativos, olvidando el retorno de la inversión.
- Los proyectos de grandes presas en Perú no deben ser validados sin el respaldo de un plan integral estricto de control de sedimentos, que empiece mucho antes de la construcción de los embalses. Pues, ello implica que la decisión para la ejecución de estos proyectos debe tener carácter técnico, desligado de políticas demagógicas.
- Los pagos por servicios ambientales hídricos de estos proyectos, por parte de los usuarios del agua, deben tener carácter de obligatorio y deben estar inmersos en las tarifas.
- El Estado debería abandonar definitivamente el escenario de ser actor directo de la construcción de grandes presas, para convertirse más bien en ente promotor de la inversión privada, pues de otro modo sólo hace engendrar más pobreza futura despilfarrando importantes recursos públicos para favorecer el presente de unos pocos.
- Las cuencas altamente vulnerables a la erosión hídrica, como casi todas las de la vertiente del Pacífico, no son recomendables para la regulación mediante grandes represamientos, sino mediante forestaciones masivas y construcción de micro represamientos en las cuencas altas, tal como sabiamente manejaron las culturas incas y pre incas, de las cuales quedan aún vestigios. En nuestros días, la forestación Granja Porcón de la microcuenca río Tinte, en esta misma cuenca, es un modelo digno de réplica en otras áreas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rudas, Guillermo (1995), *Uso del Agua e Incentivos Económicos para la Conservación de Cuencas Hidrográficas*, Bogotá, Colombia.
2. Pearce, D & y Turner, K. (1995). *Economía de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente*, Santafé de Bogotá, Colombia.
3. Barrantes, G. & Vega, M. (2002). *Evaluación del Servicio Ambiental Hídrico en la Cuenca del río Tempisque y su Aplicación al Ajuste de Tarifas*, Costa Rica.
4. Alpizar, F. & Madrigal, R, (2005). *Valoración Económica de Servicios Ambientales Hídricos en Paisajes Intervenidos*, Costa Rica.
5. Azqueta D. & Field, C. Q. (1996). *Economía y Medio Ambiente*. Tomo 3 McGraw-Hill. Colombia.
6. Cordero, D. (2004). *Pago por Servicios Ambientales para la Conservación del Recurso Hídrico*. Fundación Natura, Colombia.
7. Estrada, R. & Quintero, M. (2004). *Propuesta Metodológica para el Análisis de Cuenca: una alternativa para corregir las deficiencias detectadas en la implementación del pago por servicios ambientales*. CODESAN-CIAT.
8. Faures, J. (2003). *Relaciones Tierra-Agua en Cuencas Hidrográficas: implicaciones para sistemas de pago por servicios ambientales*. Dirección de Fomento de Tierras y Aguas. FAO.
9. Fundación FORD & Fundación PRISMA, (2002). *Pago por Servicios Ambientales en las Américas*. Informe sobre la propuesta de pago por servicios ambientales en México. <http://www.prisma.org.sv>
10. Hofstede, R. (2003). *Gestión de Servicios Ambientales y Manejo de Áreas Naturales en Cuencas Andinas*. Universidad de Ámsterdam Ecopar. Quito, Ecuador.
11. Herrador, D. & Dimas, L. (2000). *Aportes y limitaciones de valoración económica en la implementación de esquemas de pago por servicios ambientales*. Prisma N° 41, Pág. 1-16. San Salvador.
12. Llerena, C. (2003). *Servicios ambientales de las cuencas y productos de agua, conceptos, valoración, experiencias y sus posibilidades de aplicación en el Perú*. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
13. Pérez, C. (2000). *Pagos por servicios hidrológicos a nivel municipal y su impacto en el desarrollo rural: la experiencia del programa para la agricultura sostenible en laderas de América Central*. PASOLAC.
14. Porras, I. (2003). *Valorando los servicios ambientales de protección de cuencas: Consideraciones metodológicas*.

15. Cuellar, N.; Herrador, D. & Rosa, H. (1999). *Comercio de servicios ambientales y desarrollo sostenible en Centroamérica: Los casos de Costa Rica y El Salvador-Síntesis*. International Institute for Sustainable Development, IISD. Ottawa, Canadá. Pàg.61.
16. Echevarría, M. (2003). *Algunas lecciones sobre la aplicación de pagos por la protección del agua con base en experiencias en Colombia y Ecuador*. Ponencia para el evento complementario “Foro regional sobre pago de servicios ambientales”. Bogotá, Colombia.
17. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, FAO (2003). “*Foro Regional sistema de pago por servicios ambientales en cuencas hidrográficas*”. Arequipa, Perú.
18. Field, C. (1997). *Economía ambiental: una introducción*. McGraw-Hill. Colombia.
19. Pagiola, S.; Landell-Mills N. & Bishop J. (2005). *Mecanismos basados en el mercado para la conservación y desarrollo*. Instituto Nacional de Ecología (ine). <http://www.ine.gob.mx/ueajei/Publicaciones/libros/423/cap.1.html>
20. Pagiola, I. (2003). *Valorando los servicios ambientales de protección de cuencas: Consideraciones metodológicas*. Colombia.
21. Wunder, S. (2006). *Pago por servicios ambientales: principios básicos esenciales*. Centro para la investigación forestal internacional. CIFOR. Yacarta, Indonesia.
22. Tognetti, S.; Mendoza, G.; Southgate, D.; Aylward B. & Garcia, I. (2003). *Evaluación de la efectividad de pagos por servicios Ambientales en cuencas hidrográficas*. México.
23. Alam, S. (2001). *A critical evaluation of sedimentation management design practice*. Hydropower & Dams. 1, 54-59.
24. Aparicio M. (1992), *Fundamento de Hidrología de Superficie*. Edit. Limusa S.A.
25. Batuca, D., D.G. & Jordán, J. (2000). *Silting and Desilting of Reservoirs*. A.A. Balkema, Rotterdam.
26. Boix, F., Barberà, Lòpez F & Castillo V. (2007). *Effets of check dams, reforestation and land-use changes on river channel morphology: Case study of the Rogativa catchment (Murcia, Spain)*. Geomorphology, 91, 103-123.
27. Ekstrand, E. (2000). *Estimating economic consequences from dam failure in the safety dams program*. U.S. Department of the Interior. Bureau of Reclamation, EC-2001-01.
28. García R., White, S., Lasanta, T., Martí C., González C., Errea M., Valero B. y Ortigosa L. (1999). *Assessing the effect of land-use changes of sediment yield management and channel dynamics in the Central Spanish Pyrenees*. Human Impact on Erosion and Sedimentation. International Association Hydrological Sciences, 245, 151-158.
29. ICOLD (2008). *International Commission of Large Dams, ICOLD*, <http://www.icoldcigb.net/>  
[http:// www.dams.org](http://www.dams.org)

30. Jiménez, O. y Farías, H. (2005). *Problemática de la Sedimentación del Embalse Valdesia*, República Dominicana. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de la República Dominicana (INDRHI). Santo Domingo, República Dominicana.
31. Lai, J. (1999). *Hydraulic Flushing for Reservoir Desiltation*. A dissertation submitted in partial satisfaction of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, University of California at Berkeley.
32. Mattos, R. (1992). *Pequeñas Obras Hidráulicas, Aplicación a Cuencas Andinas*.
33. Morris, G., & Fan, J. (1999). *Reservoir Sedimentation Handbook. Design and Management of Dams, Reservoirs and Watersheds of Sustainable Use*. McGraw-Hill Book.
34. Neitsch S., Arnold J., & Williams, J. (2001). *SWAT. Soil and Water Assessment Tool. Model Calibration*. USDA Agricultural Research Service. Soil and Water Research Laboratory. Temple, Texas. USA.
35. Palau, A. (2001). *Aspectos Ambientales de la Sedimentación de Embalses*. Jornadas sobre sedimentación de embalses, CEH-SEPTEM, Madrid.
36. Palau, A. (2002). *La Sedimentación de Embalses, Medidas preventivas y Correctoras*.
37. Dirección de Medio Ambiente y Calidad, Endesa servicios, Madrid. Primer Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente.
38. Palau, A. (2004). *La Sedimentación en Embalses*. La Nueva Revista de Ingeniería sobre Tecnología energética de Publicaciones Dyana. Consulte Dyana Energía y Sostenibilidad. Vol.79, pág. 26-30.
39. Rocha A. (2006). *La Problemática de la Sedimentación de Embalses en el Aprovechamiento de los ríos Peruanos, Aplicada al Embalse de Poechos*. I Congreso Internacional de Hidráulica, Hidrología, Saneamiento y Medio Ambiente. Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG). Lima, Perú.  
[http:// www.imefen.uni.edu.pe](http://www.imefen.uni.edu.pe)
40. Serrano, L., Escuder, B., Membrillera, O. & Altarejos, L. (2010). *Methodology for the Calculation of Annualized Incremental Risks in Systems of Dams*. Risk Analysis Journal.
41. Silva, F., Lambe T., Marr, W. (2008). *Probability and risk of slope failure*. Journal Geotechnical & Geoenvironmental Engineering. Vol. 134, 1691-1838, November.
42. Siyam, A., Yeoh J., & Loveless, J. (2001). *Sustainable Reservoir Sedimentation Control*. Proc. IAHR Congress, Viena.
43. Spalletti, P. y Brea J. (1998). *Producción de Sedimentos en Cuencas de ríos de Montaña*. XVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Oaxaca, México.
44. Spalletti, P y Brea, J. (1998). *Estudio Experimental en Lecho Vivo de la Estabilización del Perfil longitudinal de un Cauce de Gran Pendiente*, XVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica de Hidráulico, Oaxaca, México.
45. White, R. (2001). *Evacuation of Sediments from Reservoirs*. Thomas Telford, London.



46. Mayrand, K, Paquin, M. (2004). *Pago por servicios ambientales: Estudio y evaluación de esquemas vigentes*. Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). UNISFERA.  
<http://www.infoandina.org/recurso.shtml?x=4466>
47. Dourojeanni, et. Al. Amazonía Peruana en 2021. Sociedad Peruana de Derecho Ambiental-SPDA. Segunda Edición, Lima, Perú, 2010.pp.131-135.
48. Wunder, S. (2005). Pagos por servicios ambientales: principios básicos esenciales. CIFOR.  
[http://www.cifor.cgiar.org/pes/publications/pdf\\_files/OP-42S.pdf](http://www.cifor.cgiar.org/pes/publications/pdf_files/OP-42S.pdf)