UNIVERSIDAD DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL PIRHUA

FACTIBILIDAD DE APLICAR LA METODOLOGÍA DE DESCOLMATACIÓN UDEP EN EL EMBALSE GALLITO CIEGO

Carmen Aponte-Rosales

Piura, agosto de 2018

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Civil

Aponte, C. (2018). *Factibilidad de aplicar la metodología de descolmatación UDEP en el embalse Gallito Ciego* (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.

Esta obra está bajo una licencia
Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

U N I V E R S I D A D D E P I U R A
FACULTAD DE INGENIERÍA

“Factibilidad de aplicar la metodología de descolmatación UDEP en el embalse Gallito Ciego”

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

Carmen Jesus Aponte Rosales

Asesor: Dr. Ing. Jorge Reyes Salazar

Piura, agosto 2018

A Dios, a mis padres y hermanas, por todo el apoyo y confianza que me han brindado para seguir creciendo personal y profesionalmente.

Prólogo

Por la constante preocupación de la colmatación de embalses y con el reciente estudio de la metodología de descolmatación propuesta por el Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Piura, la cual ha sido analizada en el reservorio Poechos, se decide evaluar la factibilidad de su aplicación en el embalse Gallito Ciego.

La importancia de este es estudio es garantizar la descolmatación del embalse en cuestión, generando la limpieza de los sedimentos en las zonas adecuadas del embalse, lo cual permitirá la recuperación y rehabilitación de la compuerta de fondo, actualmente enterrada; la cual es indispensable para la operación de captación. Además, se reafirmaría la eficiencia de la metodología.

El desarrollo de la presente tesis forma parte del proyecto "Desarrollo de una metodología de descolmatación de un reservorio utilizando la misma energía de agua y a un bajo costo. Caso piloto: Reservorio Poechos Piura" ejecutado por el Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Piura, financiada por el Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad (PNICP) en contrato N°392-PNICP-PIAP-2014.

Finalmente deseo expresar mi agradecimiento a mi asesor, el Dr. Jorge Reyes; a la Mgtr. Marina Farías Zegada y a la Ing. Kiara Tesen, quienes me apoyaron y supieron orientar en el desarrollo de mi investigación. Además, el apoyo del Ing. Nilton Buguña, especialista en recursos hídricos del Consejo de Recursos Hídricos Cuenca Chira Piura, por el apoyo brindado en la recopilación de la información del embalse Gallito Ciego.

Resumen

La presente tesis tiene como objetivo principal realizar un estudio de factibilidad de aplicar la metodología de descolmatación UDEP para embalses, en Gallito Ciego. Con los resultados obtenidos se justificará si es viable o no, la implementación de la misma para dicho embalse, con el objetivo de poder limpiar el sedimento existente y evitar la colmatación progresiva, utilizando la misma energía del agua. Para ello, siguiendo el estudio previo de esta metodología, se recopiló información histórica y actual del embalse; con la cual se procedió a realizar los análisis sedimentológicos, hidrológicos e hidráulicos.

Los estudios realizados para el embalse Gallito Ciego evidenciaron que la compuerta de fondo se encuentra inoperable, esto debido a que la mayor cantidad de sedimentos se encuentran cerca de la presa. Esto es alarmante, pues si la sedimentación continúa en dicha zona, la compuerta de servicio quedaría obstruida. Además, se logró verificar que, con la propia energía del agua, se obtendría capacidad de arrastre en la zona de interés, es decir en los primeros cinco kilómetros. Por lo tanto, se concluye que es factible y necesaria la aplicación de la metodología de descolmatación UDEP en el embalse Gallito Ciego, para así recuperar paulatinamente su capacidad y aumentar su vida útil.

Índice General

Prólogo v
Resumen vii
Introducción 1
Capítulo 1. Marco teórico 3
1.1. Embalse 3
1.1.1. Tipología 3
1.1.1.1. Embalses de fábrica 3
1.1.1.2. Embalses de material suelto 4
1.1.2. Estructuras 5
1.1.3. Niveles de operación 6
1.1.4. Importancia 6
1.2. Sedimentación 7
1.2.1. Causas de la sedimentación 7
1.2.2. Problemática de la sedimentación 7
1.3. Descolmatación 8
Capítulo 2. Metodología de descolmatación UDEP para embalses 11
2.1. Descripción de la metodología 11
2.1.1. Recopilación de información histórica 12
2.1.2. Análisis sedimentológico 12
2.1.2.1. Topobatimetría 12
2.1.2.2. Granulometría de sedimentos 13
2.1.2.3. Pendiente adecuada 13
2.1.3. Análisis Hidrológico 13
2.1.4. Análisis Hidráulico 14
2.2. Análisis de los efectos aguas abajo de la presa por la operación de descolmatación 16
Capítulo 3. Proyecto Especial Jequetepeque Zaña 19
3.1. Antecedentes 19
3.2. Objetivos 19
3.3. Cuenca Jequetepeque 20
3.3.1. Ubicación 20
3.3.2. Subcuencas 20
3.3.3. Hidrografía 23

3.3.4. Climatología 23
3.3.5. Geomorfología 24
3.4. Etapas del Proyecto Jequetepeque Zaña 24
3.5. Embalse Gallito Ciego 25
3.5.1. Ubicación 25
3.5.2. Estructuras del embalse 26
3.5.2.1. Estructura de entrada 26
3.5.2.2. Estructura de conducción 27
3.5.2.3. Estructura de salida 28
3.5.3. Características del embalse 28
3.5.4. Operación del embalse 29
Capítulo 4. Estudio de factibilidad en el embalse Gallito Ciego 33
4.1. Análisis Sedimentológico 33
4.1.1. Batimetrías 34
4.1.2. Batimetría 2013 36
4.1.3. Batimetría 2017 38
4.1.4. Granulometría 39
4.2. Análisis hidrológico 41
4.2.1. Caracterización de años hidrológicos 43
4.2.2. Estadística de caudales 44
4.3. Análisis hidráulico 45
4.4. Propuestas económicas de alternativas de descolmatación 57
4.4.1. Alternativas planteadas por el PEJEZA para la evacuación de sedimentos 57
4.4.2. Alternativa planteada por la metodología de descolmatación UDEP 58
Conclusiones y recomendaciones 59
Bibliografía 61
Anexos 65
Anexo A. Solicitud de patente 67
Anexo B. Estructuras del embalse Gallito Ciego 70
Anexo B-1. Estructura de entrada 70
Anexo B-2. Estructura de conducción. 71
Anexo B-3. Estructura de salida. 72
Anexo C. Caudal promedio mensual (m3/s) en el embalse Gallito Ciego. Estación hidrológica Yonán. 73

Anexo D. Caracterización de años hidrológicos periodo 1943-2017. 77
Apéndices..... 79
Apéndice A. Masas mensuales (MMC) de ingreso al embalse Gallito Ciego..... 81
Apéndice B. Volumen de recuperación en el embalse 83

Introducción

Los embalses son estructuras que permiten almacenar el agua en épocas hidrológicamente favorables, lo que optimiza el aprovechamiento del recurso hídrico, ya sea en la agricultura o en generación eléctrica. Sin embargo, una gran desventaja es el proceso de colmatación que presentan a lo largo de su vida útil, lo cual reduce su capacidad de almacenamiento con el paso del tiempo.

Ante esta problemática, construir nuevos embalses no es la solución más óptima, por el uso de territorio, y por el impacto ambiental, social y económico que conlleva. Por lo que se prefiere optar por la descolmatación de estos, buscando alternativas más viables.

En la región Piura, el embalse de Poechos tiene un proceso de colmatación acelerado, a consecuencia de la presencia de dos Fenómenos El Niño (FEN). Cabe indicar que antes de la ocurrencia de estos eventos, el volumen anual de colmatación se presentaba dentro de los niveles previstos en el diseño. Por ello, el Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria (IHHS) de la Universidad de Piura (UDEP) realizó un estudio detallado del embalse Poechos con el fin de proponer una metodología económica para su descolmatación, utilizando la misma energía del agua. A partir de este estudio en Poechos, se ha desarrollado una metodología que puede ser aplicada a embalses en general, no obstante, al ser un estudio reciente, no se ha aplicado a ningún otro embalse.

Por lo tanto, la presente tesis busca realizar un estudio de la factibilidad de la aplicación de la metodología UDEP en el embalse Gallito Ciego, la represa más alta de Latinoamérica, ubicada en el norte peruano.

Como inicio de la investigación se procederá con el acopio de información del proyecto “Desarrollo de una metodología de descolmatación de un reservorio utilizando la misma energía del agua y a un bajo costo. Caso piloto: Reservorio de Poechos” (IHHS), y con la investigación sobre el embalse Gallito Ciego, centrándonos en la problemática que puede existir a causa de la sedimentación.

A partir de la metodología planteada por la UDEP para la descolmatación y con la investigación del embalse mencionado anteriormente, se iniciará con el estudio de factibilidad técnica, a través del análisis sedimentológico, batimétrico e hidrométrico del embalse objetivo.

Posteriormente, con los resultados obtenidos se justificará si es factible o no la implementación de la misma para dicho embalse, con el fin de poder limpiar el sedimento existente y evitar la colmatación acelerada utilizando la energía del agua.

Finalmente, si resulta factible la aplicación de la metodología UDEP, se darán recomendaciones generales a tener en cuenta y se propondrán mejoras en las reglas de operación de los embalses.

Capítulo 1

Marco teórico

1.1. Embalse

El embalse es un muro grueso de piedra u otro material, el cual se construye a través de un río, arroyo o canal para almacenar el agua y elevar su nivel. El muro debe ser diseñado para soportar las fuerzas ejercidas por la presión del agua y ser impermeable para impedir filtraciones a lo largo de su estructura. El fin principal de su construcción es regular el caudal para el aprovechamiento del recurso hídrico, y así cubrir las necesidades básicas del hombre, la producción agrícola y energética, y el comercio.

1.1.1. Tipología

Los diferentes tipos de embalses responden a las diversas posibilidades de cumplir la doble exigencia de resistir el empuje del agua y evacuarla cuando sea preciso. En cada caso, las características del terreno y los usos que se le quiera dar al agua condicionan la elección del tipo de presa más adecuado (Pastran & Barrera, 2010).

1.1.1.1. Embalses de fábrica

Hoy en día, los embalses de fábrica son casi exclusivamente de hormigón. La mampostería ha quedado abolida por su elevado costo, menor seguridad y su lentitud de construcción. Se subclasifican en:

- **Embalse de gravedad**

  En este tipo de embalse su propio peso es el encargado de resistir el empuje del agua y de impedir que se produzca deslizamiento o vuelco. El empuje producido por el agua es transmitido hacia el suelo, por lo que este debe ser suficientemente estable para soportar el peso de toda la estructura (Figura 1). Constituyen los embalses de mayor durabilidad y los que menor mantenimiento requieren (Admin, 2013).

- **Embalse de arco-bóveda**

  Este embalse está basado en el concepto antifunicular, esto hace que la estructura trabaje a compresión (Figura 2). Debido a su forma de arco, es capaz de resistir el empuje del agua. Se requiere que sea de roca muy dura y resistente ya que transfiere presión de forma muy concentrada hacia las laderas de la cerrada (Admin, 2013). Cuando el

embalse tiene curvatura en el plano vertical y en el plano horizontal, también se denomina de bóveda.

– **Embalse aligerado o de contrafuerte**

Poseen un mecanismo resistente similar al del embalse de gravedad. Se trata de embalses en donde la "cabeza" está inclinada y apoyada sobre unos elementos más largos denominados "colas", los que se colocan sujetando la cabeza a lo largo del cuerpo del embalse (Figura 3) (Amador, 2016).

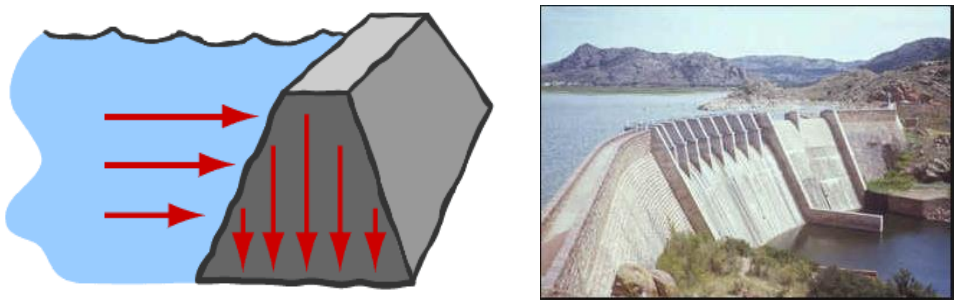


Figura 1. Embalse de gravedad.
Fuente: Amador, 2016.

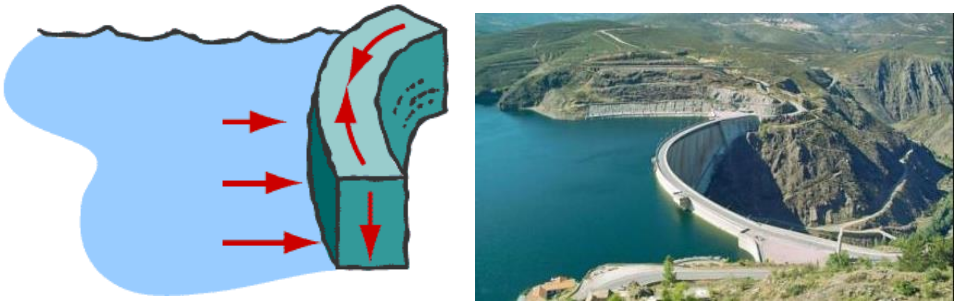


Figura 2. Embalse de arco simple.
Fuente: Amador, 2016.

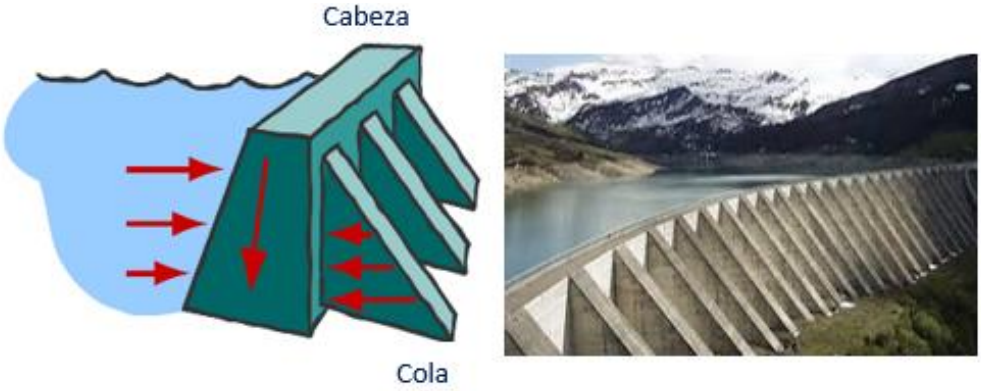


Figura 3.Represa aligerada o de contrafuerte.
Fuente: Amador, 2016.

1.1.1.2. Embalses de material suelto

Estas son los embalses más abundantes en el mundo por su versatilidad y su costo, se construyen prácticamente de cualquier material, lo que los vuelve muy económicos. Tienen sección trapezoidal, y su principal característica es la zonificación de sus materiales, es decir,

cada tipo de material se coloca donde mejor ejerce su función. Amador (2016), los subdivide en:

- **Embalse homogéneo:** Hacen uso del mismo material impermeable en todo el cuerpo del embalse. Se emplean en alturas pequeñas y medias, siendo el ancho de su base en torno a 6 y 8 veces la altura de presa.

- **Embalse de núcleo:** En la parte interna del embalse se encuentra un núcleo impermeable y en la parte externa está cubierto por un material resistente. A su vez se puede subclasificar según la morfología e inclinación del núcleo. Se debe tener en cuenta que el núcleo inclinado aporta ventajas desde el punto de vista de la seguridad y construcción

- **Embalse de pantalla:** Poseen una pantalla impermeable que se apoya sobre el talud de aguas arriba del cuerpo del embalse. Según el material de la pantalla se puede clasificar como pantalla de hormigón, asfáltica y plástica. El ancho de la base suele ser el triple de la altura de presa.

1.1.2. Estructuras

Según Córdova (2015), los embalses cuentan con 3 estructuras principales:

- **Agua embalsada:** Es el volumen de agua retenido artificialmente por un embalse sobre el lecho de un río o arroyo, el cual será utilizado para abastecer la demanda hídrica durante épocas de sequía.

- **Aliviadero:** También denominado estructura de alivio. Sirve para descargar los excedentes que llegan al embalse, los cuales no se desean almacenar. Su característica más importante es la de evacuar con facilidad las máximas crecientes que llegan al vaso regulador. Su insuficiencia provoca el desborde del agua por encima de la cresta del embalse, y el posible colapso de esta estructura si se trata de un embalse de tierra o enrocado.

  Los aliviaderos pueden ir dotados de compuertas o no, es así como obtenemos aliviaderos controlados y no controlados, respectivamente. Los controlados se mueven a voluntad y pueden controlar caudal y nivel, pero tienden a obstruirse y requieren mayor mantenimiento, por otro lado, los no controlados resultan más caros para un mismo rango de caudales, ya que necesitan longitudes de vertido mayores, así como obras de desagüe más importantes.

- **Obras de toma:** Son un conjunto de estructuras formado por una estructura de entrada, un conducto a través del embalse y una estructura de salida. Este permite tomar las aguas del embalse y pasarlas al canal principal.

1.1.3. Niveles de operación

Los embalses cuentan con diferentes niveles de operación (Figura 4):

- **Nivel máximo de crecidas:** Se presenta temporalmente durante la crecida de los ríos, dando lugar al volumen de crecidas del embalse, el cual puede ser utilizado en algunos casos, pero por lo general es evacuado rápidamente.

- **Nivel máximo de operación normal:** Delimita superiormente al volumen útil del embalse, que es el que se aprovecha y gasta en función de diferentes propósitos. Para su ubicación se tienen en cuenta los siguientes aspectos: aportes de la cuenca, demanda de agua y las pérdidas por evaporación e infiltración.

- **Nivel mínimo de operación normal:** Delimita al volumen generado por la altura mínima del agua necesaria para el correcto funcionamiento de toma de agua que se sitúa por encima del nivel muerto del embalse.

- **Nivel muerto del embalse:** Es el nivel mínimo de agua en el embalse. Delimita al volumen muerto, el cual debe exceder en capacidad al volumen de sedimentos calculado durante la vida útil, con el fin de que el embalse los pueda contener.

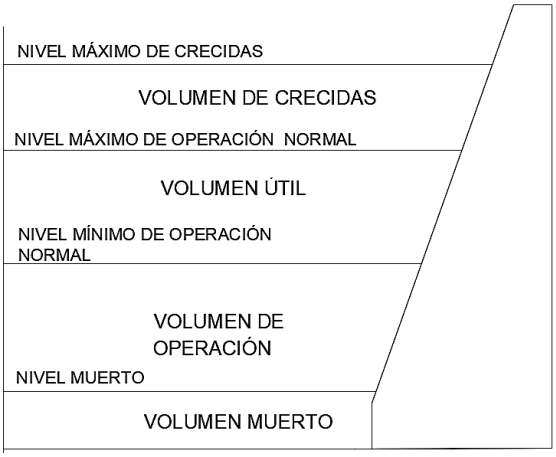


Figura 4 Niveles característicos.
Fuente: Guevara (s.f).

1.1.4. Importancia

Los embalses son estructuras que permiten almacenar el agua en épocas hidrológicamente favorables, lo que optimiza el aprovechamiento del recurso hídrico. Su construcción, operación y mantenimiento implican una gran inversión, la cual solo está justificada por los potenciales beneficios de las mismas (Importancia, s.f).

Cabe destacar que en la construcción de estos se debe seguir todas las especificaciones con rigurosidad, de manera que no se cometan errores que pudieran causar grandes daños a la ecología (Pastran & Barrera, 2010).

La construcción de un embalse puede ser asignada a diferentes usos, si estos cumplen una función en particular se llaman embalses unipropósitos; y si tienen más de un fin, multipropósitos. Arbulú (2016) nombra algunos de estos:

- **Irrigación:** El agua almacenada, debe ser suficiente para cumplir con la demanda hídrica que no fue cubierta mediante la precipitación, a un costo razonable. La calidad del agua debe ser tal que no sea peligrosa para los cultivos o para los suelos

- **Generación de energía:** Se necesita de una central hidroeléctrica, la cual utiliza energía hidráulica para la generación de energía eléctrica. En general, estas centrales aprovechan la energía potencial gravitatoria que posee la masa de agua en virtud de un desnivel.

- **Control de avenidas:** Su finalidad es laminar el caudal de las avenidas torrenciales, con el fin de evitar inundaciones que causen daños a los terrenos situados aguas abajo de la presa en casos de fuerte tormenta.
- **Agua potable:** El agua almacenada se utiliza como suministro de agua potable para los habitantes que se encuentren cercanos a la zona, es decir aguas debajo del embalse.

1.2. Sedimentación

Según la Fundación Aquae (s.f), la sedimentación es un proceso habitual en los fondos de los ríos y mares, en donde el agua transporta gran cantidad de materiales orgánicos e inorgánicos, y cuando pierde velocidad, los más pesados van a parar al fondo del lecho de los ríos. A medida que el agua discurre más despacio, acaban precipitando los sólidos menos pesados.

Los sedimentos son transportados por las corrientes de agua hasta zonas que se conocen como cuencas sedimentarias, por lo general depresiones en los ríos, embalses, canales, etc., que posibilitan que las partículas o sedimentos se asienten allí (Significados, s.f). En los embalses ocurre este fenómeno, puesto que el agua embalsada apenas tiene corriente, los materiales que transporta acaban sedimentando, incluso los más ligeros.

1.2.1. Causas de la sedimentación

La sedimentación depende de muchos factores; los más importantes pueden ser los externos a la superficie del embalse, tales como la naturaleza del terreno de las cuencas que aportan agua al embalse y las que vierten sus aguas directamente al mismo, pues la erosión de estos produce la mayor parte de sedimentos.

Se debe tener en cuenta que una mala gestión agraria y ambiental, pueden agravar los procesos erosivos en la cuenca, causando la pérdida de potencial biológico de los suelos. Por ello se debería considerar la implantación de técnicas de conservación de suelos, mantenimiento y repoblaciones forestales, educación agroambiental, etc.

1.2.2. Problemática de la sedimentación

Los sedimentos tienen una gran influencia sobre la operación de proyectos de recursos hídricos y estructuras hidráulicas. De hecho, en un estudio, Sepúlveda (s.f) indica que los sedimentos influyen sobre los embalses en diferentes formas, las cuales son:

- Acumulación de sólidos, lo cual genera la disminución del volumen útil y la obstrucción de las tomas, estaciones de bombeo, descargas de fondo, etc. Debemos tener en cuenta que la sedimentación de los ríos afecta los embalses, porque las partículas que arrastran, aunque estén disueltas en el agua, cerca o por el fondo del río, pueden llenar o colmatar

los embalses con arenas, gravas y limos, hasta dejarlos inservibles en menos de 20 años (Gonzales, 2011).

- La calidad de agua que entra a las torres de toma, pues esta depende de la concentración y tipos de sedimentos que contiene, lo que influye sobre la operación de las plantas de tratamiento, el desgaste de las conducciones y estructuras y por último en la abrasión de la maquinaria hidráulica.

- Cuando la descarga de agua contiene una gran cantidad de arrastre de sólidos puede causar la degradación del cauce del río que se encuentra aguas abajo de la presa. A su vez, si existiera una central hidroeléctrica, esto puede ocasionar problemas en su operación.

Por otra parte, la magnitud de los efectos aguas arriba de los embalses, aunque estén en función de las características del aporte de sedimentos y de la presa, tienden a ser despreciables en comparación con la que muestran las consecuencias en el tramo aguas abajo (Martin, s.f).

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) nos describe las principales causas y consecuencias importantes de la sedimentación (Tabla 1):

Tabla 1 Principales causas y consecuencias importantes de la sedimentación

Pertinencia	Sector	Causa	Consecuencia
Ríos principales y canales navegables	Navegación	Sedimentación en ríos o lagos	Disminución de la profundidad del agua, dificultando la navegación.
		Dragados (ríos, embalses, lagos o puertos)	Liberación de sustancias químicas tóxicas
Lagos, ríos, embalses como suministro de agua	Suministro de agua	Mayor desgaste de la bomba/turbina.	Repercusiones en la entrega del agua, aumento de los costos de mantenimiento.
		Reducción de la funcionalidad del suministro de agua para ciertos fines.	Reducción del volumen de la fuente de agua y aumento de costos.
Instalaciones hidroeléctricas	Energía hidráulica	Las presas atrapan el sedimento que ha sido arrastrado por la corriente.	Disminución de la capacidad del embalse.
		Mayor desgaste de la bomba/turbina.	Reducción del ciclo de vida de la generación de energía.
Canales acuáticos y sus ecosistemas	Sustancias tóxicas	Acaban enganchándose o siendo absorbidas por las partículas del sedimento.	Trasporte a otras zonas o sedimentación en otras zonas. Posterior liberación en el medio ambiente.

Fuente: UNESCO, 2005.

1.3. Descolmatación

Ante el evidente problema de sedimentación que se presentan en los diferentes cuerpos de agua, se busca la descolmatación de los mismos; la cual se define como la limpieza de fondos de los ríos o lagunas en donde se han ido depositando residuos sólidos (Hildebrandt, 2014).

La Comisión Internacional de Grandes Presas; por sus siglas en inglés, ICOLD; ha señalado cuatro grupos de medidas que pueden tomarse para minimizar la pérdida de volumen útil por sedimentación que ocurre en los embalses:

- **Reducir el aporte de sólidos al embalse**

  Los sólidos provienen de la erosión de la cuenca, por lo tanto, la disminución de su erosionabilidad reducirá el aporte de sedimento. Sin embargo, esta es una tarea ardua, que toma mucho tiempo y dinero, y que está vinculada a un conjunto de decisiones que trascienden la actividad del ingeniero proyectista. La consecuencia directa del aporte de estos solidos es la pérdida de volumen útil del embalse.
  Otra forma de disminuir el ingreso de sedimentos a un embalse consiste en construir una o más presas aguas arriba cuya función sea de retener sedimentos. Sin embargo, este tipo de presas presentan numerosos problemas y desventajas que deberían ser cuidadosamente analizadas. Además, que implicaría una gran inversión de dinero.

- **Eliminar los sólidos depositados**

  Esto se puede realizar mediante la purga hidráulica del embalse, siempre y cuando sus condiciones lo permitan. También puede realizarse a través de dragado, el que eventualmente se ha combinado con sifones, esto es aplicable más para embalses pequeños.

- **Compensar el volumen perdido por sedimentación**

  Esta compensación puede hacerse de varias maneras. Una de ellas es el aumento de la altura de presa, conocido con el nombre de recrecimiento de la presa. Esta acción requiere de un detenido estudio que incluya múltiples aspectos, tales como un análisis de las condiciones de sedimentación para el embalse ampliado y la verificación previa de cuál es el volumen que podría ganarse, tomando en cuenta que el volumen no es necesariamente igual al que había topográficamente a la puesta en servicio de las obras.

  Por otro lado, se debe tener en cuenta que la sobre elevación de presas exige estudiar y considerar diversos aspectos, como: problemas políticos, socioeconómicos, aumento de pérdidas por filtración y evaporación, seguridad de la presa, entre otros. En conclusión, no resulta fácil llevar a cabo esta alternativa.

- **Disminuir la retención de sólidos en el embalse**

  Para lograr esto se debe controlar que todos los sólidos al llegar al embalse sigan su recorrido aguas abajo. Pero la realidad es distinta, por ende, como solución general, se puede plantear el favorecimiento de formación de corrientes de densidad, o si no operar el embalse de modo que las grandes avenidas arrastren sedimentos.

La última alternativa de solución descrita fue la base para el desarrollo de la metodología de descolmatación UDEP, la cual consiste en descolmatar reservorios usando la misma energía del agua (IHHS, 2017a). Esta metodología será descrita en el Capítulo 2, sobre la base además de distintos informes previos tales como el informe final del modelo matemático (IHHS, 2017b) y el segundo informe de hidrología (IHHS, 2017c).

Capítulo 2

Metodología de descolmatación UDEP para embalses

Para la elaboración del presente acápite se ha tomado la información obtenida de los informes del proyecto ejecutado por el Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria (IHHS) de la Universidad de Piura (UDEP).

La metodología de descolmatación UDEP fue desarrollada por el IHHS, en el proyecto "Desarrollo de una metodología de descolmatación de un reservorio utilizando la misma energía del agua y a un bajo costo. Caso Piloto: Reservorio Poechos", el cual empezó en el año 2014 y culminó en el 2017.

La base para la investigación de este proyecto fue el reservorio de Poechos, ubicado sobre el río Chira, al noroeste del Perú, en una zona costera y desértica, a unos 60 km al norte de la Ciudad de Piura. Su principal problema es la sedimentación, el cual se intensificó por la ocurrencia de dos Fenómenos El Niño (FEN). Cabe indicar que antes de la ocurrencia de estos eventos, el volumen anual de colmatación se presentaba dentro de los niveles previstos en el diseño es decir entre 8 a 9 MMC/año. Sin embargo, durante los FEN extraordinarios de 1983 y 1998 el volumen de colmatación llegó a 75 MMC/año (PECHP).

A raíz de este problema de sedimentación se empieza con la planificación de un proyecto eficaz, capaz de descolmatar el reservorio a un bajo costo, ya que la región Piura no cuenta con grandes recursos económicos.

El proyecto se desarrolló a lo largo de 3 años, en los cuales se planificó la elaboración de informes paulatinos, llamados hitos, y progresivos del estudio, en donde se explican los diversos análisis que se realizaron para poder llevar acabo la metodología planteada por la UDEP. Sin embargo, en la presente tesis no se puede incluir mucho detalle del método ya que se ha presentado ante INDECOPI una solicitud de registro de patente (**Anexo A**).

2.1. Descripción de la metodología

A partir del estudio que realizó el IHHS en el embalse Poechos, con el fin de proponer una metodología económica para su descolmatación, utilizando la misma energía del agua; se ha desarrollado una metodología que puede ser aplicada a embalses en general, no obstante, al ser un estudio reciente, no se ha aplicado a ningún otro embalse.

Cabe resaltar, que la metodología UDEP, presenta una diferencia innovadora de la antes mencionada establecida por ICOLD. Sin embargo, esta no puede ser mencionada en el

cuerpo de la presente investigación, pues la metodología estudiada se encuentra en un proceso de patente.

2.1.1. Recopilación de información histórica

La metodología parte de una recopilación de información histórica perteneciente a cada ámbito de estudio, desde su puesta en marcha, hasta la actualidad.

Como primer punto, es importante conocer las reglas actuales de operación, las cuales se obtienen por medio de la entidad encargada del embalse puesto en estudio.

Para el análisis sedimentológico, se debe contar con planos de la presa y con las batimetrías del embalse, con el fin de conocer la progresión de sedimentos acumulados en el mismo a lo largo del tiempo y los cambios generados en el fondo del cauce.

En el análisis hidrológico, se necesitan los niveles de operación, caudales de ingreso y los caudales entregados a los diferentes puntos de atención que tiene el embalse. Con la información recogida, es necesario conocer el comportamiento y las condiciones hidráulicas que se han presentado desde su puesta en marcha.

Toda esta información es necesaria para tener un conocimiento completo de las características del embalse en estudio, con la finalidad de plantear un método que pueda contrarrestar los efectos de la sedimentación y prolongar su vida útil.

2.1.2. Análisis sedimentológico

El análisis sedimentológico se realiza con el objetivo de conocer el volumen del material sedimentado y la tasa de crecimiento anual del mismo, así como las posibles causas que generan este problema. Con dicha información se reconocen las zonas del embalse que más requieren atención y en las cuales se enfocaría la metodología a aplicar.

2.1.2.1. Topobatimetría

Se parte de un análisis de las batimetrías efectuadas históricamente en el embalse. Para tener un mejor alcance se recomienda trabajar con la data anual, sin embargo, en algunos casos la información recogida puede ser insuficiente, es decir que estas batimetrías no se realicen anualmente. Esto no es favorable para las investigaciones, pues para tener un estudio completo, se recomienda hacer dos mediciones batimétricas por año, al final del periodo de estiaje y al final de la estación de lluvias, ya que se debe registrar el avance en la acumulación de sedimentos en el embalse.

Adicionalmente, la metodología de descolmatación prevé realizar topobatimetrías adicionales en el embalse, concentradas en la zona de interés para la investigación, es decir, en aquellas secciones en donde, con la información histórica, se ha determinado una mayor cantidad de sedimentos. La finalidad es obtener una comparación y datos actuales que permitan un análisis más especializado.

Para la ejecución de las topobatimetrías, se recomienda trabajar a partir de los puntos geodésicos de control, establecidos por la entidad que opera el embalse en estudio; en el margen derecho e izquierdo; asimismo se deberá establecer hitos auxiliares para las

secciones hidráulicas, desde el primer levantamiento que se realice. Esto, con el objetivo de tener patrones de comparación sobre secciones transversales predeterminadas en todas las mediciones que se desarrollen.

Una vez definidas las secciones hidráulicas se empieza a realizar un levantamiento topográfico tipo radiación por los bordes de la presa para conocer la altimetría del pie y hombro de talud de ambos extremos.

Culminada la parte topográfica, se realiza el levantamiento batimétrico del fondo del embalse mediante el uso de una ecosonda más un GPS Diferencial, que trabajan en conjunto y sincronizados, apoyados en un bote para realizar los recorridos por el embalse formando cuadriculas.

Todos estos datos se usan para registrar el volumen físico de la sedimentación presente en el embalse, así podremos ver si cumple con la tasa de acumulación de sedimento para la cual fue diseñada. Dependiendo si el aumento de sedimento es alarmante o no, se tomarán medidas sobre su descolmatación. Se debe tener en cuenta que es necesario hallar la ubicación en donde se concentra la mayor cantidad de sedimentos en el embalse; pues así se podrá determinar el porqué de esta excesiva acumulación y enfocar la metodología a esa zona de interés, como se mencionó anteriormente.

2.1.2.2. Granulometría de sedimentos

Es necesario conocer la granulometría del material que ingresa al embalse. Para ello, se realiza un análisis granulométrico de una muestra tomada en campo, aplicando procedimientos estándar para determinar las diferentes características de los materiales en suspensión y depositados. Este análisis se usará posteriormente para las modelaciones numéricas.

2.1.2.3. Pendiente adecuada

Se debe analizar la pendiente existente en el embalse, pues esta tiene que asegurar la capacidad de arrastre de sedimentos, para ello se debe realizar análisis de los perfiles longitudinales.

2.1.3. Análisis Hidrológico

De acuerdo con el segundo informe de hidrología realizado por el IHHS (2017c), el análisis hidrológico plantea elaborar un modelo de predicción de caudales, con el fin de identificar el periodo óptimo para realizar la descolmatación del embalse. Para ello es conveniente contar con los registros históricos semanales de los caudales de entrada, aunque estos pueden tener una periodicidad diferente.

Según las características hidrológicas que presente el embalse y por la naturaleza del proceso de descolmatación propuesto, se determinará un periodo adecuado de operación en niveles bajos y con paso de caudales altos, para generar flujo sin remanso, el cual tendrá el poder de arrastre suficiente de los sedimentos acumulados en el embalse. Además, la predicción permitirá asegurar con mayor confiabilidad el llenado posterior del embalse.

Por tanto, la modelación debe hacerse a nivel de caudales medios en el periodo determinado anteriormente. A esta serie temporal deberá ajustársele un modelo ARIMA estacional multiplicativo.

Para poder analizar la modelación se optó por el uso del programa Matlab, ya que puede analizar modelos más completos, ofrece un lenguaje flexible, crea nuevas funciones, automatiza cálculos entre otros.

Dadas las facilidades que ofrece Matlab, se procedió al desarrollo de una aplicación que permita un tratamiento integral de toda la información. Esta debe realizar de forma automática las siguientes tareas:

- Leer la información hidrológica diaria que proporciones el operador del embalse y alimentar una base de datos que contiene todas las variables que se reciben.
- Predecir el caudal medio, de acuerdo con la periodicidad establecida, para el siguiente año a partir del día siguiente al último dato recibido. Cabe mencionar que la precisión de estas predicciones disminuye con el horizonte de predicción.
- Junto con las predicciones se calculan intervalos de predicción que ayudan a cuantificar su incertidumbre.
- Generar un archivo de salida, de preferencia en Excel, con las predicciones de caudal en la periodicidad establecida.

A partir de las predicciones, la aplicación permite realizar cálculos complementarios, tales como el volumen acumulado (MMC) que se espera obtener cada día, con probabilidades de 50%; también se puede obtener volúmenes acumulados que puedan garantizarse con probabilidades mayores.

2.1.4. Análisis Hidráulico

Según el informe final del modelo matemático realizado por el IHHS (2017b), la técnica de descolmatación planteada en esta metodología es la de disminuir la retención de sólidos en el embalse, la cual consiste en descolmatar un embalse usando la misma energía del agua en condiciones de flujo supercrítico, es decir, con un nivel mínimo de operación y altas velocidades.

Para esto es necesario hacer una modelación numérica haciendo uso de software de modelación como HEC-RAS y TELEMAC, que permiten evaluar el proceso de sedimentación en el embalse, dando información sobre los esfuerzos cortantes en el fondo, las velocidades, presiones y niveles de agua.

Para el desarrollo de la modelación se debe hacer un análisis hidráulico previo; esto abarca la planificación de pruebas de campo y pruebas de descolmatación; las cuales consisten en la operación de estructuras con la finalidad de observar y medir el comportamiento hidráulico y sedimentológico que comprenden; la ejecución de las pruebas, levantamiento topográfico post-ensayos, procesamiento de la información recabada en campo y análisis de los resultados particulares.

- **Modelación con HEC-RAS**

  Se ha empleado el software HEC-RAS para modelar el proceso de descolmatación en el reservorio. Para este modelo se necesita los caudales de entrada, conocer la geometría del embalse, especificar el coeficiente de rugosidad de Manning y los coeficientes de expansión y contracción

  Una vez realizado el esquema, se ingresan los valores de las longitudes entre secciones previamente establecidas, tomando en cuenta el sentido del flujo, desde aguas arriba hacia aguas abajo.

  Para el cálculo de transporte, se hizo uso de la fórmula de Meyer-Peter y Müller, la cual es considerada estrictamente una ecuación de carga de lecho. La fórmula ha sido usada frecuentemente para la cuantificación del arrastre de sedimentos en el cauce, aplicable sólo para sedimentos bien graduados y condiciones de flujo que produce un lecho plano.

  Para el espesor del lecho móvil y su seguimiento vertical se seleccionó el método Exner 5, el cual es un modelo con tres capas que incluye la capacidad de formar un estrato que limita la erosión del material en aquellas profundidades que por la existencia de material más resistente se produce un armado de lecho natural.

  Luego se genera una curva granulométrica bajo el criterio del mecanismo de decantación propio de los embalses, donde las partículas gruesas se depositan aguas arriba y las finas aguas abajo, cerca de la presa.

  Para el modelamiento, se delimitará el cauce erosionable respecto de la llanura de inundación, en el extremo izquierdo y derecho de cada sección.

  Para establecer las condiciones de salida cuando las compuertas del aliviadero están abiertas se realizaron los cálculos respectivos del nivel de superficie de agua para condiciones de flujo a superficie libre. Se plantean dos formas de cálculo:

  a) Considerando la acción de descolmatación con un tirante crítico, se utilizó la ecuación de tirante crítico para una sección rectangular.

  b) Considerando la acción de descolmatación como vertedero.

  Se ha utilizado los valores de cota de agua obtenidos a partir de la ecuación de tirante crítico en un vertedero, debido a que este comportamiento del flujo es semejante al real. Con esto se puede obtener la cantidad de sedimentos transportados en cada una de las secciones, es así como podemos determinar desde que sección hay un fuerte transporte de sedimentos en el embalse.

  Con los resultados obtenidos de la cantidad de sedimentos diarios transportados durante la operación de descolmatación a lo largo del embalse, se puede ver con mayor claridad el comportamiento del flujo cuando hay arrastre de sedimentos.

- **Modelación con Open TELEMAC-MASCARET**

  Se utiliza el modelo numérico bidimensional Open TELEMAC-MASCARET para representar el comportamiento de los sedimentos en el embalse, el cual permite estudiar su comportamiento hidrodinámico y sedimentológico, hallando valores de velocidades y esfuerzos de corte y evaluar si son capaces de remover el material sedimentado.

  Para esta modelación se plantea usar el cauce natural que forma el agua al operar a una cota baja el reservorio. Para realizar los estudios en el cauce, se debe hacer un modelo numérico previo para definir la llanura de inundación, el eje de corriente principal, la zona de densificación y los ajustes en el mallado.

  El modelo necesita de la geometría del embalse, la cual es elaborada a partir del levantamiento topobatimétrico más completo, y del valor del caudal, este se define a raíz de un análisis hidrológico realizado como parte de la metodología. Los resultados permitirán conocer el eje del cauce y el espejo de agua, con este último valor se diseñó la malla definitiva para estudiar el comportamiento hidrodinámico y sedimentológico del cauce natural.

  Ahora se debe establecer una estructura del mallado y condiciones numéricas para estudiar el comportamiento hidrodinámico en fondo fijo y otras para estudiar el comportamiento hidrodinámico y sedimentológico en fondo móvil.

  Para el fondo móvil debemos tener en cuenta que la representación del comportamiento del transporte de sedimentos de fondo y de suspensión mediante un modelo numérico, se basa en estudios experimentales que se han desarrollado en canales o de mediciones directas de campo. Cada estudio tiene realidades diferentes, es por eso, que dependiendo de la similitud del estudio se elige la fórmula adecuada de transporte, la cual debe ser calibrada para poder representar totalmente la realidad, en caso no se pudiera calibrar se utiliza la ecuación de Meyer Peter y Müller ya que ayuda a predecir mejor el comportamiento de fondo.

  Dentro de los resultados de la modelación tanto para fondo fijo como para fondo móvil, se pueden obtener para el valor de caudal establecido anteriormente, los niveles de cota, la velocidad y el esfuerzo de corte necesarios para saber cómo varía el comportamiento del embalse dependiendo de cada sección. Asimismo, de la simulación realizada con dicho caudal se puede calcular el volumen de material erosionado.

Las pruebas de campo y las modelaciones realizadas permiten asegurar el adecuado planteamiento y posterior funcionamiento de la metodología aplicada en el embalse.

2.2. Análisis de los efectos aguas abajo de la presa por la operación de descolmatación

La metodología propuesta tiene especial cuidado en los efectos que ocasione la remoción de sedimentos del embalse aguas abajo de la presa. Lo principal es que, al proponer limpiar los sedimentos con un flujo por gravedad, el cual implica operar el embalse dejando pasar caudales elevados, no se exceda el caudal máximo que puedan soportar las diferentes estructuras ubicadas aguas abajo.

Además, es importante entender que los ríos ubicados aguas abajo de la presa cambian su morfología por la ausencia de sedimentos. Por ello, si se plantea aportar los sedimentos acumulados en el embalse al río, se le proporcionaría mayor estabilidad, naturalizando así su cauce.

Capítulo 3
Proyecto Especial Jequetepeque Zaña

3.1. Antecedentes

En 1963, debido a la necesidad de regular las aguas del río Jequetepeque para atender los requerimientos del valle, incrementar las tierras de cultivo y superar las contingencias del régimen irregular e incierto del río, los agricultores del valle Jequetepeque ofrecieron al gobierno financiar los estudios pertinentes para llevar a cabo su propósito; por ello solicitaron que se establezca un gravamen a la producción de sus cultivos principales como arroz y algodón (PEJEZA, 2016a).

El 10 de Julio de 1964, se declara la necesidad y utilidad pública del estudio definitivo sobre regulación de riego en el valle Jequetepeque y se amplía por tiempo indeterminado dicho gravamen, además se autoriza al comité convocar a licitación para la ejecución de estudios y obras establecidas (PEJEZA, 2016a).

En el año de 1969, el comité especial del valle, después de efectuar y evaluar el estudio de prefactibilidad sobre el proyecto, acogió el planteamiento formulado por la Oficina Regional de Desarrollo del Norte (ORDEN) de incorporar al valle de Zaña dentro de los alcances del proyecto, por lo que se amplía el enfoque del mismo, naciendo así el Proyecto Especial Jequetepeque Zaña (PEJEZA, 2016a).

3.2. Objetivos

El PEJEZA es un proyecto desconcentrado del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), que se responsabiliza por optimizar el uso del recurso hídrico y promover la siembra alternativa e incentivar la inversión privada con la finalidad de mejorar la calidad de vida de los habitantes cerca de las cuencas. Realiza intervenciones con eficiencia y eficacia en el marco del plan estratégico formulado con la participación de los más importantes actores del desarrollo (PEJEZA, 2016a).

El proyecto tiene propósitos múltiples, siendo sus objetivos principales:

- El mejoramiento de riego e incorporación de áreas agrícolas en el inter valle y valles Jequetepeque y Zaña.
- La generación de energía hidroeléctrica para lograr una agricultura más competitiva y moderna en los valles mencionados, mediante el abastecimiento a la central hidroeléctrica Gallito Ciego.

- La elaboración de estudios y la ejecución de obras de ingeniería que permitan el almacenamiento y regulación de las aguas del río Jequetepeque y la derivación de los ríos Namora y Cajamarca
- La construcción de centrales hidroeléctricas que aumentarán las disponibilidades energéticas en el ámbito de influencia.

3.3. Cuenca Jequetepeque

El esquema hidráulico del proyecto y sus principales obras, se han adecuado al aprovechamiento del recurso hídrico disponible en las cuencas de los ríos Jequetepeque y Zaña de la vertiente occidental, por tal motivo se realizó el estudio en sus diferentes aspectos.

Actualmente, el sistema de riego de la cuenca está conformado por un conjunto de obras hidráulicas, en las que destaca el embalse de Gallito Ciego, las bocatomas Talambo-Zaña y Jequetepeque, los canales Talambo-Zaña, Guadalupe-Chafán, Pueblo Nuevo-Santa Rosa, y la red de colectores de drenaje.

La infraestructura de riego en la cuenca es muy distinta según las zonas; con la construcción del reservorio de Gallito Ciego, el valle bajo cuenta con un sistema regulado que permite disponer de agua en condiciones ventajosas. En cambio, en las zonas altas, el riego para la agricultura depende más de las condiciones de lluvia que se registren en el año (Rocha, 2006).

3.3.1. Ubicación

La cuenca del río Jequetepeque (Figura 5) ocupa una superficie de 4205.3 km^2 y se ubica en la costa norte del Perú, en el departamento de Cajamarca, comprendida entre las coordenadas geográficas 6º48’ y 7º26’ de latitud Sur y los meridianos 78°20’ y 79°35’ de longitud Oeste.

Desde el punto de vista de la división política, la cuenca comprende a las provincias de San Miguel, San Pablo, Cajamarca y Contumazá del departamento de Cajamarca y la provincia de Pacasmayo en La Libertad (ANA, 2015).

De acuerdo con su demarcación hidrográfica pertenece a la Vertiente del Pacifico y tiene sus límites con las siguientes cuencas:

- **Por el Norte:** Cuenca Chancay Lambayeque e Intercuenca Alto Marañón.
- **Por el Este**: Cuenca Crisnejas.
- **Por el Sur:** Cuenca Chicama.
- **Por el Oeste:** Cuenca Zaña y Chamán.

3.3.2. Subcuencas

Teniendo en cuenta las estaciones de control hidrológico y una divisoria de aguas natural, se ha dividido la cuenca en siete subcuencas (Figura 6), teniendo un área total de la cuenca de 4205.3 km^2.

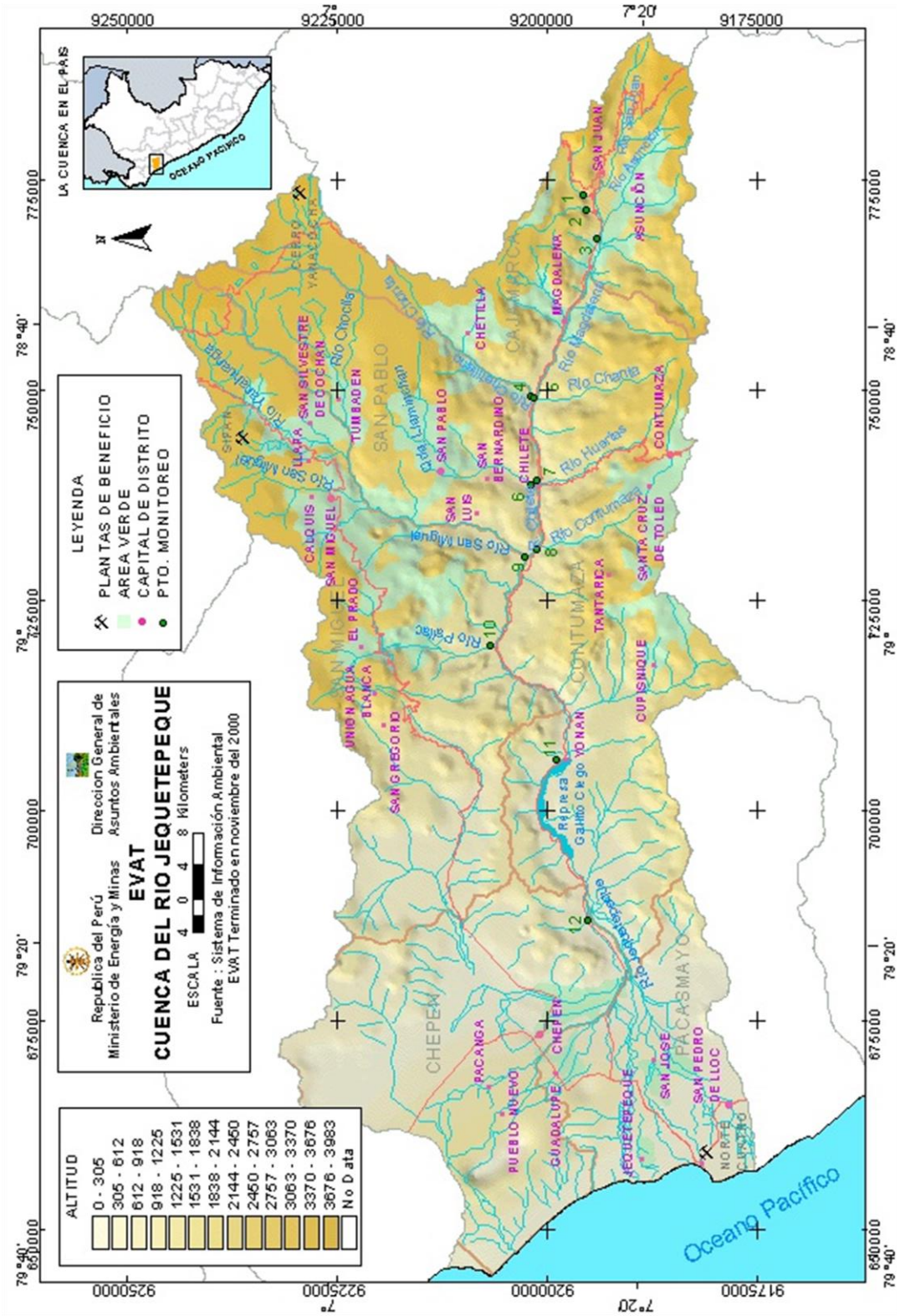


Figura 5 Mapa de la cuenca del río Jequetepeque.
Fuente: IPMAP, 2009.

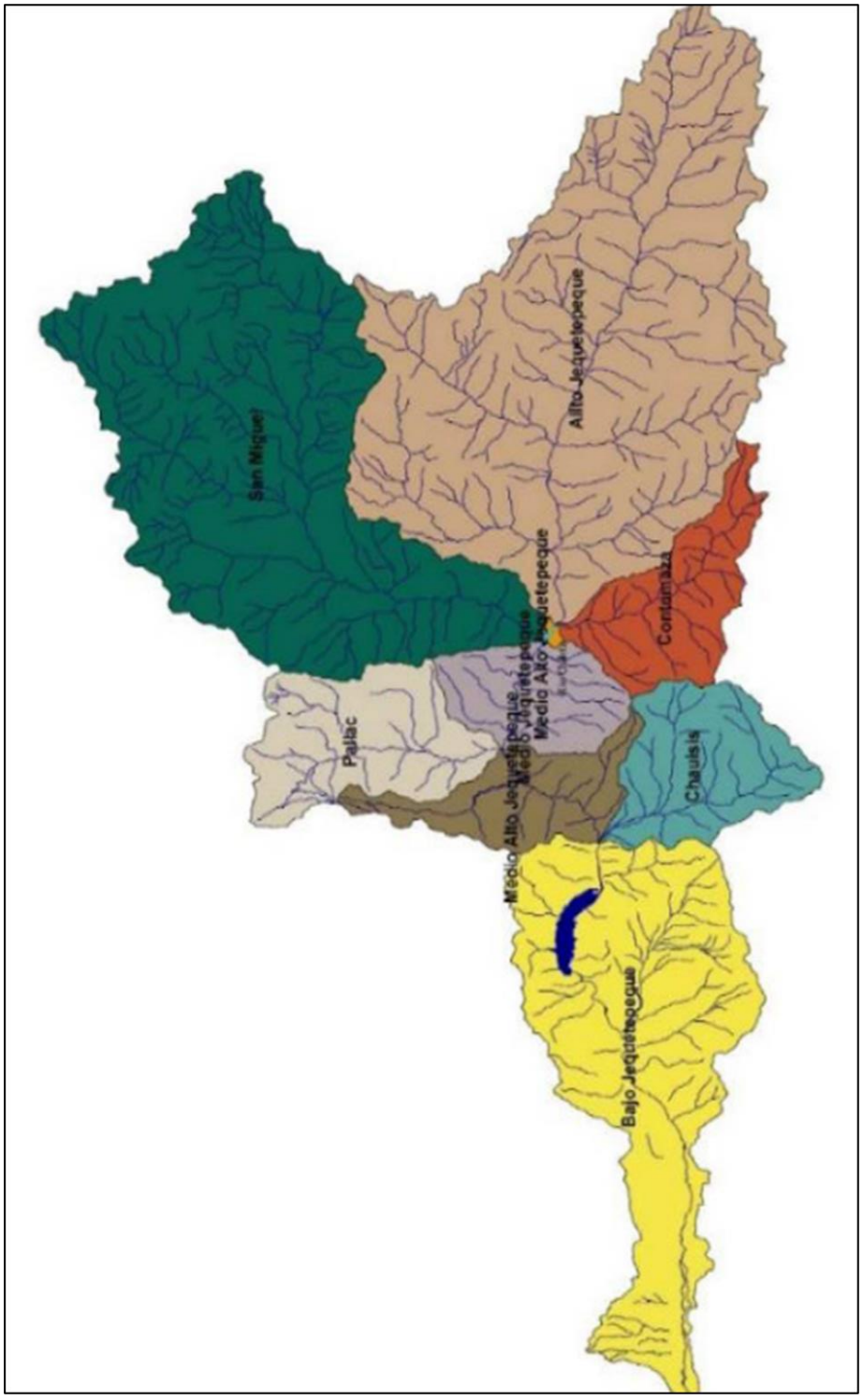


Figura 6 Subcuencas del río Jequetepeque
Fuente: ANA, 2015.

- **Subcuenca San Marcos:** Tiene una extensión de 655.3 km^2 desde las nacientes del río Yanahuanga hasta Llapa.

- **Subcuenca Chilete:** Con un área de 982.2 km^2, se extiende desde el nacimiento del río Huacraruco hasta el final del río Magdalena.

- **Subcuenca Las Paltas:** Comprende todo el río San Miguel, desde sus nacientes hasta su confluencia con el río Chilete para formar el río Jequetepeque de Salitral, en un área de 382.1 km^2.

- **Subcuenca Llallán:** Tiene una extensión de 553.5 km^2. Comprende la zona del Cerro Cóndor por el norte y Contumazá por el sur, teniendo como al río Chilete como principal.

- **Subcuenca Yonán:** Con una extensión de 518.2 km^2, se ubica al oeste de la subcuenca Las Paltas, desde el río Pencayo por el norte, y el río Jequetepeque que lo cruza en su parte media hasta Pampa Larga.

- **Subcuenca Ventanillas:** Con un área de 526.6 km^2, comprende la quebrada San Lorenzo y el tramo del río Jequetepeque que va desde Pampa Larga hasta Ventanilla.

- **Subcuenca Litoral:** Tiene un área de 587.4 km^2. Comprende la zona de salida al mar del río Jequetepeque y las zonas de cultivo desde Ventanillas.

3.3.3. Hidrografía

Esta cuenca se puede considerar como un macrosistema de 448000 ha, desde la línea divisoria continental de las vertientes del Océano Pacífico y del Atlántico hasta el litoral marino en el Océano Pacífico. El sistema hidrográfico incluye una red de drenaje de más de 30 ríos secundarios, así como un número elevado de riachuelos y quebradas menores. (ANA, 2015). El río Jequetepeque recibe en su recorrido el aporte de una serie de ríos y quebradas; por la margen izquierda; los ríos Chonta, Contumazá y Qda. Chausis y por el margen derecho; el río Chetillano, la Qda. Llamichan y los ríos San Miguel y Pallac (Cepes, s.f).

3.3.4. Climatología

El clima de la cuenca está influenciado fundamentalmente por la corriente de Humbolt, de agua fría; y ocasionalmente por las corrientes marinas del Niño, de agua caliente, que corren de norte a sur. Estas actúan como elementos reguladores de los fenómenos climatológicos de la zona.

Las temperaturas van desde 26°C, en los meses de febrero y marzo, hasta 18°C en julio, agosto y setiembre. Conforme aumenta la altura, la precipitación aumenta y la temperatura disminuye hasta llegar a 10° C a 4000 m.s.n.m. En la cuenca se presenta cuatro tipos de clima según la clasificación de Köppen (ANA, 2015):

- **Clima de desierto:** Con precipitaciones muy escasas, se presenta en casi toda la cuenca del río Chamán y en la parte baja de la cuenca del río Jequetepeque hasta su desembocadura al mar.

- **Clima de estepa:** Con precipitaciones escasas, se presenta en la parte más alta de la cuenca del río Chamán y en una estrecha franja de la cuenca del río Jequetepeque en su parte media.

- **Clima húmedo:** Con precipitaciones de verano, aparece sólo en la cuenca del río Jequetepeque, al sureste de la cuenca, en la zona de Contumazá.

- **Clima frío o boreal:** Con precipitaciones en verano. Se presenta en la zona noreste de la cuenca del río Jequetepeque, particularmente en las subcuencas San Marcos y Las Paltas.

3.3.5. Geomorfología

Según estudios realizados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA,2015), se presentan evidencias de distintos procesos relacionados a la evolución geológica de Jequetepeque, siendo el agua el agente geodinámico más activo en la actualidad. Éste es un agente permanente, el cual contribuye variablemente a la erosión, transporte y deposición de materiales no consolidados heterogéneos y heterométricos.

Se sabe que geomorfológicamente la cuenca del río Jequetepeque corresponde a una cuenca joven con ríos de fuerte pendiente, secciones transversales en forma de "V" y profundas zanjas de erosión en sus laderas con pendientes hasta de 20% (ANA,2015).

La cuenca incluye las tres regiones macro morfoestructurales de la subregión occidental que conforma el escenario geográfico del Perú; estas son, la región marina litoral, la repisa continental denominada costa y la cordillera andina. Estas unidades geomorfológicas son medios que, aunque están estrechamente relacionados, son bastante diferentes, esto determina que la cuenca sea un ecosistema complejo (ANA, 2015).

3.4. Etapas del Proyecto Jequetepeque Zaña

Terminados los estudios en la cuenca Jequetepeque, verificando la posibilidad de construir un embalse, se procedió a definir las etapas del PEJEZA conforme con las prioridades, el desarrollo y construcción de las obras de su infraestructura hidráulica mayor. El desarrollo del proyecto fue programado en tres etapas, de las cuales solo se ha ejecutado la primera.

- **I etapa**

  En esta etapa se contempló el represamiento del río Jequetepeque por medio de la construcción del embalse Gallito Ciego, proyecto que inició en 1981 y finalizó en 1988. Las empresas Zublin y salgitter de Alemania, y Tizón Olaechea del Perú, fueron las responsables de la construcción del proyecto. Este se construyó con un volumen útil de 400 MMC aproximadamente.

  Actualmente, brinda un servicio de riego para 42700 ha del valle Jequetepeque, lo cual implica el mejoramiento del sistema de riego de 36000 ha. Asimismo, ha posibilitado la incorporación progresiva de 5746 ha netas de tierras eriazas, es decir; tierras de uso agropecuario que no son explotadas por falta o exceso de agua del valle exterior (Quiroz, 2016).

- **II etapa**

  En la segunda etapa, el proyecto tiene un perfil técnico que fue elaborado en mayo del 2003 por el PEJEZA. Ese perfil contemplaba ya, el uso de las aguas subterráneas de los valles Jequetepeque y Zaña, en vez de la derivación de las aguas de los ríos Namora y Cajamarca, previsto inicialmente (PRENSA, 2017).

  En agosto del 2005 el perfil técnico fue aprobado por el Ministerio de Agricultura y Riego del Perú (MINAGRI), disponiendo que se elaboren los estudios de prefactibilidad, los cuales se realizaron en 2008 (PRENSA, 2017), planteando:

  - Construcción de la represa El Papayo con 40 MMC de capacidad, para el valle Zaña.
  - Construcción de la represa El Pongo, Jequetepeque, con capacidad de 200 MMC.
  - Central hidroeléctrica Papayo Alto.
  - Central hidroeléctrica El Pongo.
  - Construcción de pozos de aguas subterráneas en el valle Jequetepeque.
  - Prolongación del canal Talambo - Zaña, en 36 km para llegar al valle Zaña para mejoramiento de sistema de riego de 13 mil ha.
  - Incorporación de 15750 ha nuevas en el valle Jequetepeque - Zaña

  El estudio de prefactibilidad fue observado por la Oficina de Programación e Inversiones (OPI) del MINAGRI en agosto del 2009. Las observaciones que se dieron, hasta la fecha, no han sido superadas debido a la invasión de tierras que están en controversia con las comunidades campesinas de los valles Jequetepeque - Zaña.

- **III etapa**

  Los proyectos de construcción de la tercera etapa ya están propuestos. Las obras necesarias a construirse están destinadas al aprovechamiento potencial hidro energético que se creará con las obras de las dos etapas precedentes.

3.5. Embalse Gallito Ciego

El embalse Gallito Ciego es la infraestructura hidráulica más importante del Proyecto Jequetepeque Zaña, denominada como la infraestructura hidráulica mayor de riego. Fue construida de 1981 a 1988, con un costo de 164 millones de dólares. El embalse tiene una longitud de 12 km y fue diseñado con una capacidad de 574 MMC, de los cuales 400 MMC correspondían al volumen útil (ANA, 2015).

3.5.1. Ubicación

La represa fue construida sobre el lecho del río Jequetepeque a 350 m.s.n.m en la localidad de Tembladera, distrito de Yonán, provincia de Contumazá, en el departamento de Cajamarca, Perú; aproximadamente en las coordenadas 7°13’ latitud sur y 79°10’ longitud oeste (Figura 7). Este embalse es considerado el más alto de Latinoamérica.

Está situada en un estrechamiento del valle con laderas inclinadas que forman un vaso de 12 km de largo y de 1 a 2 km de ancho cubriendo un área aproximadamente de 14 km^2 (CONDESAN, 1993).

Figura 7 Ubicación del embalse Gallito Ciego.
Fuente: Google Earth, 2017.

3.5.2. Estructuras del embalse

El embalse dispone de tres estructuras; de entrada, de conducción y de salida, las cuales se encargan de la captación; derivación, y de descarga del agua al lecho del río Jequetepeque, respectivamente (Figura 8). Las estructuras se podrán observar con más detalle en el **Anexo B.** Además, en la parte baja de la represa se ubica la central hidroeléctrica Gallito Ciego, la cual inició sus operaciones en 1997.

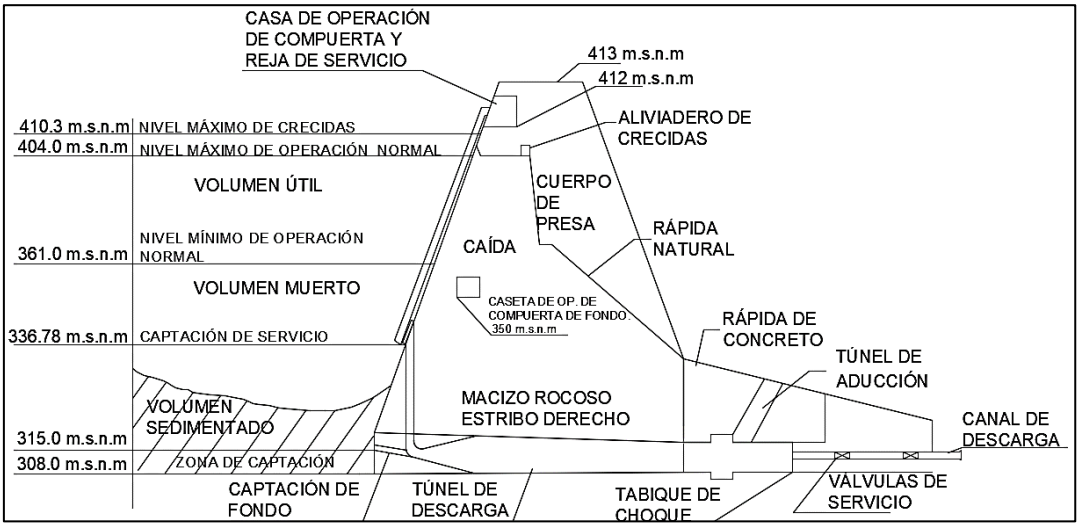


Figura 8 Estructuras del embalse Gallito Ciego.
Fuente: PEJEZA, 2016c
Elaboración: Propia.

3.5.2.1. Estructura de entrada

Son captaciones de servicio y de fondo, con sus correspondientes dispositivos de cierre. Esta estructura posibilita la captación del agua embalsada para su posterior entrega al túnel de descarga (Figura 9).

- **Captación de servicio.** El agua del reservorio ingresa por una ventana rectangular de 4.22 m x 5.83 m y, mediante una sección de transición, ingresa a un pique vertical de 3

m de diámetro y 15 m de longitud. El pique vertical se conecta con el túnel de descarga a través de una tubería curva a 90° y un embudo de empalme de 3 m a 7.50 m de diámetro.

- **Captación de fondo.** La estructura de ingreso está ubicada en la cota 315 m.s.n.m, y consiste en una ventana cuadrada de 1.20 m x 1.20 m, que mediante una sección de transición se conecta a una tubería de 1.20 m de diámetro y 42 m de longitud que desemboca en el lado derecho del túnel de descarga.

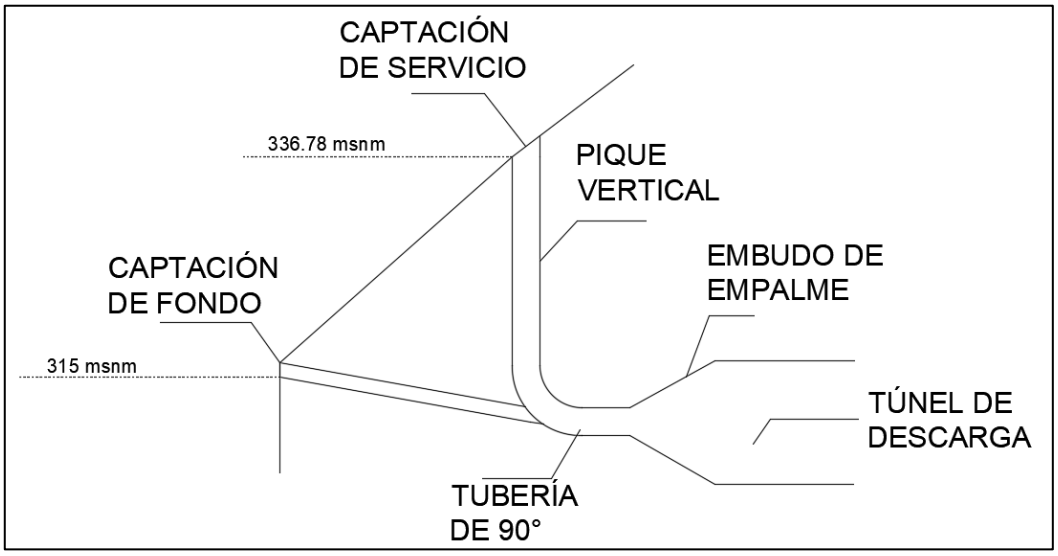


Figura 9 Estructura de entrada.
Fuente PEJEZA, 2016c
Elaboración: Propia.

3.5.2.2. Estructura de conducción

- **Túnel de descarga**. Conecta la estructura de entrada con la estructura terminal o de salida, tiene una longitud total de aproximadamente 700 m y un diámetro promedio de 7.50 m. En esta zona desemboca la tubería de la captación de fondo (Figura 10).

- **Túnel de aducción.** Conectado a una desviación esférica, su kilometraje inicia en el km 0+682.50 del eje del túnel de descarga, es una parte de la conexión o extensión posterior para la central hidroeléctrica.

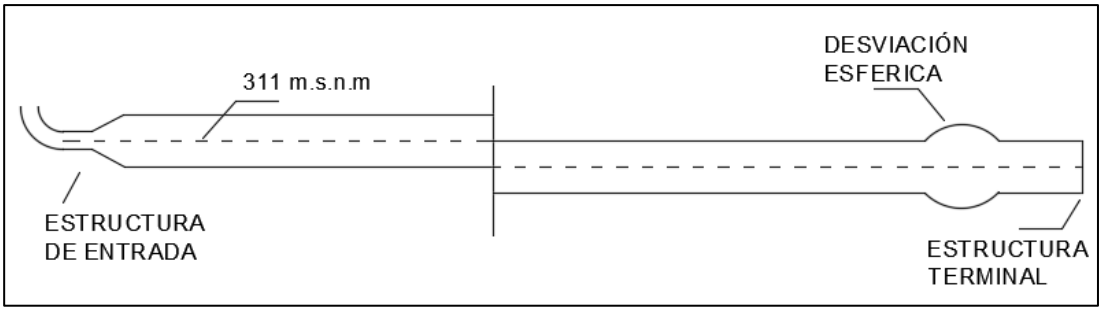


Figura 10 Estructura de conducción.
Fuente PEJEZA, 2016c
Elaboración: Propia.

3.5.2.3. Estructura de salida

- **Tabique de choque.** Ubicado al finalizar el túnel de descarga, en esta estructura están instalados dos ductos o ramales a presión, en cada uno está ubicado una válvula de servicio y una válvula de emergencia; permitiéndose una descarga nominal de hasta 70 m^3/s por cada ramal. Las válvulas de servicio son de tipo "Howell-Bungger", mientras que las válvulas de cierre de emergencia son del tipo "mariposa", ambas de 2 m de diámetro (Figura 11).

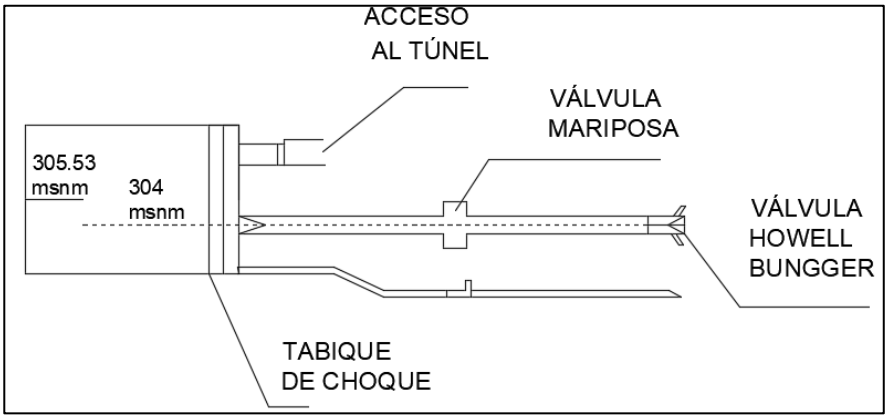


Figura 11 Estructura de salida.
Fuente PEJEZA, 2016c
Elaboración: Propia.

- **Aliviadero de crecidas**. Permite evacuar los caudales de avenidas del río Jequetepeque cuando el agua se empieza a rebalsar al llegar a la cota 404 m.s.n.m. En el salto de ski encontramos 14 dados disipadores de 10 m de longitud y 2 m de ancho, los que permiten reducir la fuerza o presión de la caída del agua.

- **Rápida.** Una vez que el caudal abandona el vertedero, cae en forma libre desde 35 m de desnivel sobre la primera poza de disipación natural. El agua sigue su curso por la rápida natural, seguida de la rápida de concreto de 179 m y pendiente variable, desde km 0+548.00 a 0+638.50, 18%; del km 0+638.50 a 0+648.50, 19.45%; y del 0+648.50 a la estructura terminal, 22.3%.

- **Poza disipadora.** En la estructura tenemos la poza de disipación natural y la poza disipadora de energía, que se encuentran en la caída de agua proveniente del aliviadero y de las válvulas Howell Bungger respectivamente. Ambas permiten disipar la energía cinética de la caída de agua.

- **Canal de descarga.** Cumple con la función de conducir las descargas desde la poza disipadora hasta el lecho original del río. Inicia en el km 0+802.65 y termina en km 1+266.00.

3.5.3. Características del embalse

El embalse Gallito Ciego, es de tierra zonificada con una altura máxima de 105.44 m y con un núcleo central de impermeabilización de concreto armado. Los taludes exteriores de la presa están protegidos por un enrocado para contrarrestar la acción erosiva del oleaje aguas

arriba y otros agentes atmosféricos aguas abajo. La Tabla 2 nos muestra sus principales características (ANA, 2015).

Tabla 2 Características principales del embalse

Características	Medidas
Altura de la presa	105.44 m
Longitud de la corona	797.00 m
Nivel mínimo de explotación	361.00 msnm.
Nivel máximo de operación normal	404.00 msnm.
Nivel máximo de crecida	410.30 msnm.
Nivel mínimo de captación	336.78 msnm.
Longitud máxima de embalse	12.00 km
Ancho de embalse en nivel 404 msnm.	Entre 0.50 km y 2.00 km
Vertedero nivel corona	404.00 msnm.
02 válvulas de servicio del tipo Howell Bungger (capacidad máxima)	85.00 m^3/s
Caudal de diseño del aliviadero de crecidas	1630.00 m^3/s
Minicentral hidroeléctrica en pie del embalse Central Hidroeléctrica en pie del embalse	250.00 kW 34.00 MW

Fuente: ANA, 2015.

3.5.4. Operación del embalse

Cuando se puso en marcha la operación del embalse Gallito Ciego se dio un primer convenio, en donde se señala al PEJEZA, a la Junta de Usuarios Jequetepeque Regulado (JUJR) y a la Asociación Civil Operación y Mantenimiento (OPEMA) Jequetepeque, como operadores del embalse. Actualmente solo PEJEZA y la JUJR están a cargo de su operación.

Actualmente, el embalse trabaja en función de dos manuales, el manual de operación y el manual de mantenimiento. El manual de operación, en base al adecuado manejo de las descargas del río Jequetepeque y el suministro de las aguas reguladas del embalse Gallito Ciego, tiene como objetivos:

- Garantizar el suministro oportuno y óptimo de agua regulada del embalse para el riego en el Valle Jequetepeque y otros usos.

- Impedir el consumo irracional de agua regulada y el uso inadecuado del volumen útil.

- Reducir al mínimo posible las pérdidas de volumen e impactos ambientales del embalse, así como los daños por impactos hidráulicos en el cauce y las orillas del río Jequetepeque.

- Garantizar la seguridad y estabilidad del embalse y cada una de sus estructuras.

Debido a que se debe considerar el suministro mensual del agua para el riego durante las campañas agrícolas, los aportes hídricos de la cuenca del río Jequetepeque al embalse y las pérdidas y descargas hídricas del mismo; el manual de operación se ha elaborado sobre los resultados de los siguientes análisis:

- Evaluaciones hidrológicas de las descargas diarias máximas anuales y de las escorrentías mensuales y anuales del río Jequetepeque.

- Desarrollo del modelo matemático para el pronóstico de las escorrentías mínimas mensuales a corto plazo del río Jequetepeque, correspondiente a un período de seis meses.

- Evaluación del volumen mínimo necesario para el inicio de las campañas agrícolas, con el propósito de garantizar el riego.

- Evaluación de los volúmenes promedios anuales de los aportes de los sólidos en suspensión y acarreos del río al embalse.

- Determinación del nivel máximo del pelo de agua para la operación del embalse en el período de avenidas de los años húmedos y muy húmedos.

- Determinación de las políticas de restricciones en el suministro de agua para el riego durante las emergencias en los años secos.

- Determinación de normas para la operación del Embalse durante las emergencias por avenidas, sismos y otros.

- Simulación de operación del embalse y suministro de agua para el riego en tiempo real sobre la base de los aforos históricos de las descargas del río Jequetepeque.

Finalmente se describe la operación del embalse y suministro de agua para el riego, en diferentes casos:

- **Condiciones normales**: estas se dan cuando el volumen del embalse se encuentra por encima del volumen mínimo necesario conforme con las características de las campañas agrícolas que se lleven a cabo. La atención de la demanda se da desde el embalse de compensación de la central hidroeléctrica, hasta la capacidad máxima de descarga en sus compuertas; en caso este embalse no tuviera las reservas suficientes, la demanda se logrará desde el embalse Gallito Ciego mediante las válvulas “Howell-Bungger”.

- **Restricciones de emergencia:** Debido a diferentes circunstancias, el nivel del embalse puede estar temporalmente por debajo del volumen mínimo necesario, por lo que se toman medidas de restricción temporal o permanente del suministro de agua para el riego de emergencia. Los objetivos de estas restricciones son crear las condiciones para lograr terminar la campaña agrícola con pérdidas mínimas e incrementar las reservas para próximas campañas.

- **Temporadas de avenidas:** La precipitación de avenidas debe iniciarse en enero con el vaciado del espacio destinado como volumen de espera, el cual debe mantenerse vacío el máximo tiempo posible. Durante esta temporada se recomienda mantener los niveles del embalse lo más alto posible, sin sobrepasar el nivel de espera correspondiente, con la finalidad de evitar el ingreso de acarreo al embalse.

Este manual no tiene reglas que permitan la descolmatación del embalse. Sin embargo, si se ha tomado en consideración elaborar reglas que permitan remover el sedimento,

aprovechando la energía hidráulica que tiene la corriente de agua durante las grandes avenidas; evacuando el máximo porcentaje de sedimentos por las válvulas Howell Bungger, y a la vez el arrastre de sedimentos de la zona del volumen útil a la zona del volumen inactivo.

Capítulo 4

Estudio de factibilidad en el embalse Gallito Ciego

En el siguiente acápite se realizará el estudio de factibilidad de aplicación de la metodología UDEP para el embalse Gallito Ciego. Con los resultados obtenidos se podrá justificar el proceder o no de su implementación.

El procedimiento para llevar a cabo este estudio inició con la recopilación de la información del embalse, como; topobatimetrías históricas, caudales históricos, información actual sobre su funcionamiento, entre otros; la cual ha sido brindada por el PEJEZA.

4.1. Análisis Sedimentológico

El embalse Gallito Ciego, por encontrarse construido en el cauce del río, esta propenso al fenómeno de sedimentación que se produce cuando el material en suspensión y de arrastre, que transporta el río se deposita en el reservorio, debido a una reducción de la velocidad de la corriente (PEJEZA, 2016b).

Según los estudios previos de evaluación de la sedimentación realizados en 1973 y 1975, el embalse se diseñó con las siguientes características: vida útil de 50 años; volumen útil, 404.4 MMC; volumen muerto, 87 MMC; volumen de crecidas, 85.60 MMC; y una tasa anual de sedimentación de 1.7 MMC/año (Figura 12) (PEJEZA,2016b).

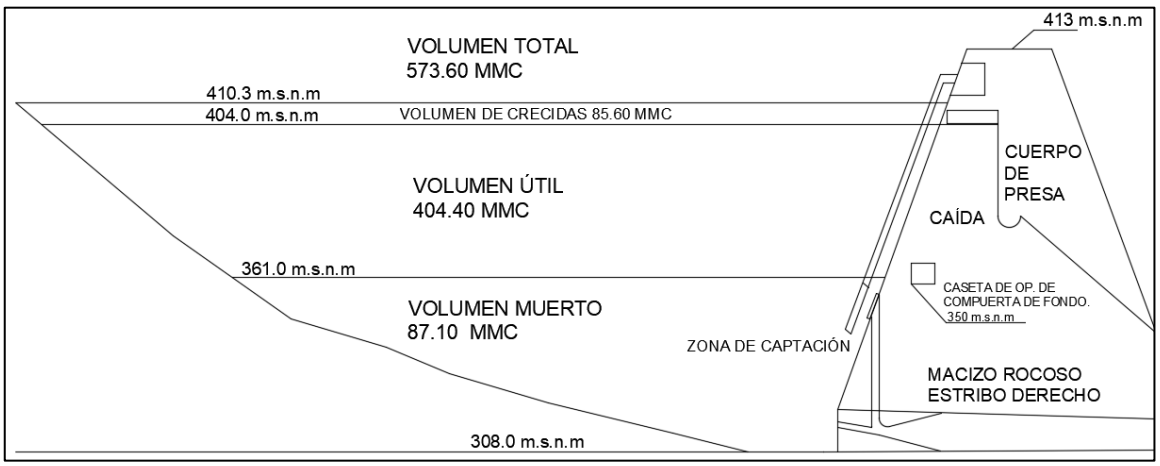


Figura 12 Características hidráulicas de diseño del embalse.
Fuente: PEJEZA, 2016c
Elaboración: Propia.

Sin embargo, resultados del estudio inicial realizado por Salzgitter en 1991; 3 años después de la puesta en marcha del embalse, muestran que el volumen útil es 426.80 MMC; el de crecidas, 93.40 MMC; y el volumen muerto, 117.90 MMC, dándonos un volumen total de 638.10 MMC (Figura 13)

Esto deja en evidencia que no existió un estudio inicial de las características reales con las que se construyó el embalse, por lo que no se cuenta con planos de replanteo; siendo este el primer problema para su estudio eficaz.

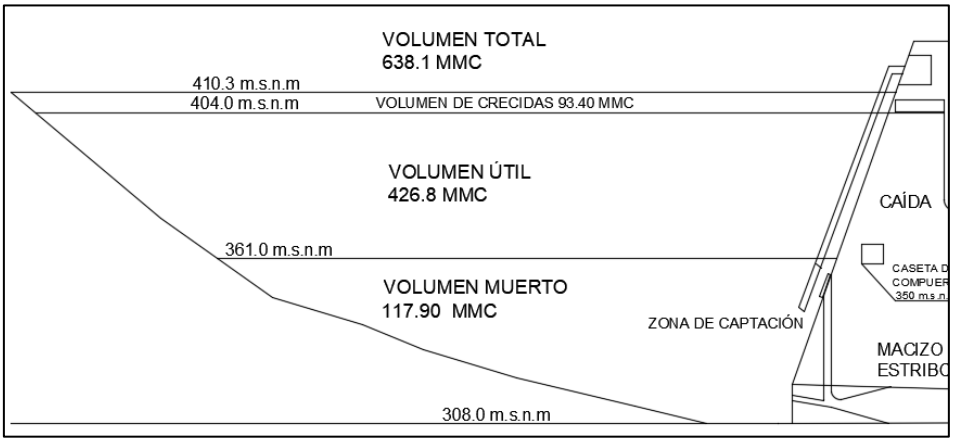


Figura 13 Estudio inicial 1991 Salzgitter.
Fuente: PEJEZA, 2016c
Elaboración: Propia.

4.1.1. Batimetrías

Desde la puesta en servicio del embalse, en febrero de 1988 hasta la actualidad, se han realizado 9 mediciones batimétricas (Tabla 3), con el fin de monitorear la capacidad del volumen de crecida, útil, muerto y total del embalse (PEJEZA).

Tabla 3 Estudios de batimetría efectuados en el embalse Gallito Ciego.

Levantamiento topobatimétrico	Entidad encargada	Volumen crecidas MMC	Volumen útil MMC	Volumen muerto MMC	Volumen total MMC
Año 1991	Salzgitter	93.40	426.80	117.90	638.10
Año 1993	PEJEZA	-	419.61	107.87	-
Año 1999	PEJEZA	94.16	394.75	84.93	523.84
Año 2000	PEJEZA	94.42	392.02	87.78	573.62
Año 2006	HyO Ings.	93.67	375.84	88.38	557.89
Año 2007	HyO Ings.	93.73	379.9	82.30	555.93
Año 2010	HyO Ings.	93.43	371.63	80.39	545.45
Año 2013	HyO Ings.	93.15	366.6	73.79	553.54
Año 2017	HyO Ings.	92.40	366.08	68.01	526.49

Fuente: H & O Ingenieros, 2017
Elaboración: Propia.

La Tabla 4 muestra los volúmenes de sedimento retenido parcial y acumulado obtenidos con los levantamientos realizados, a fin de determinar la tasa de crecimiento. Como se puede observar, después de 29 años de funcionamiento, existen 111.61 MMC de sedimentos acumulados, teniendo una tasa de crecimiento aproximadamente de 3.72 MMC/año, sin exceptuar el Fenómeno El Niño (FEN) de 1998.

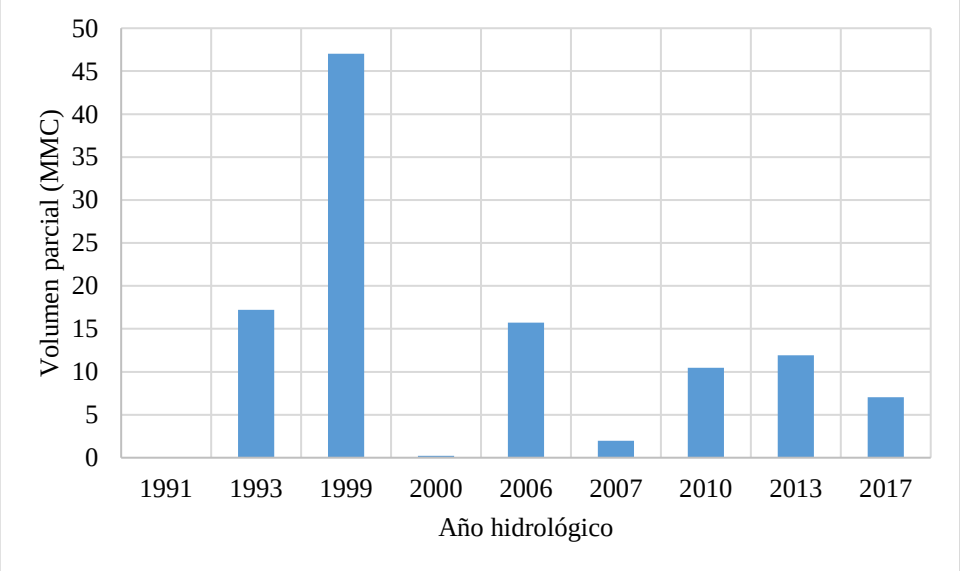
Tabla 4 Volumen de sedimento retenido en el embalse Gallito Ciego.

Levantamiento topográfico batimétrico	Volumen parcial MMC	Volumen total MMC
Estudio Inicial año 1991	-	-
Año 1993	17.22	17.22
Año 1999	47.04	64.26
Año 2000	0.22	64.48
Año 2006	15.73	80.21
Año 2007	1.96	82.17
Año 2010	10.48	92.65
Año 2013	11.91	104.56
Año 2017	7.05	111.61

Fuente: H &O Ingenieros, 2017
Elaboración: Propia.

La mayor cantidad de sedimentos retenidos se da entre 1993 y 1999, con un acumulado de 47.04 MMC, tal como se observa en la Gráfica 1. Esto intuye que Gallito Ciego también pudo ser afectado por el FEN de 1998, pues representa el 42.16% de la sedimentación total hasta el año 2017.

El volumen del material sedimentado en el periodo 1999-2000 es de 0.22 MMC, por lo que el aporte en ese año es despreciable. Sin embargo, un control realizado en el año 2000 mostró que el volumen total sedimentado hasta la fecha era de 64 MMC, de los cuales 35 MMC se encuentran en el volumen útil, en la zona próxima a la cola del embalse, mientras que 29 MMC se ubican en el volumen inactivo por cota de operación.



Gráfica 1 Volumen parcial de sedimentos.
Fuente: PEJEZA, 2017.
Elaboración: Propia.

Aunque no se tenga la distribución exacta de sedimentos dentro del reservorio; según el diseño teórico de embalses, el período que tarda en colmatarse el volumen muerto constituye a la vida útil del mismo. Por lo tanto, con la cantidad de sedimentos retenidos al 2017, y si estos estuviesen ubicados en el volumen muerto, solo faltarían 6.29 MMC para colmatarlo. Es decir que, en tan solo 30 años de funcionamiento, el embalse Gallito Ciego dejaría de funcionar.

4.1.2. Batimetría 2013

En el 2013 se realizó la última batimetría oficial del embalse Gallito Ciego; aunque en el año 2017 se realizó una nueva batimetría, al encontrarse aun en revisión, no se tiene una versión oficial de la misma.

La batimetría del 2013 se hizo con la finalidad de determinar la configuración del terreno sumergido dentro del mismo. Se desarrolló en un área de 1469 ha, con una longitud aproximada de 11 km, medidos desde el eje del embalse; con una densidad de 500 puntos por hectárea en promedio. Para el estudio se tomó el mismo eje planificado que en la batimetría del 2010, desde la progresiva 0+000 cerca al dique, hasta la 11+876, y con las mismas secciones para poder apreciar el cambio del cauce (H & O Ingenieros, 2013).

A partir de los 334 msnm. se ha tomado datos de los volúmenes correspondientes a cada cota, debido a que la mayor profundidad encontrada en el estudio se ubica en la cota 335.61 msnm; los datos se registraron hasta llegar a los 410 msnm (Tabla 5).

Tabla 5 Volumen-Altura de la batimetría 2013.

Volumen (MMC)	Altura (msnm)
0	335
2.6	340
13.2	345
28.5	350
47.2	355
69.0	360
93.9	365
121.1	370
150.6	375
182.2	380
219.9	385
267.4	390
322.7	395
385.3	400
454.7	405
529.0	410
533.5	410.3

Fuente: H & O Ingeniero, 2013

Los resultados de esta última batimetría oficial (Figura 14), indican un volumen útil de 366.60 MMC; un volumen muerto de 73.79 MMC, y un volumen de crecidas de 93.15 MMC; dando un volumen total de 533.54 MMC que, comparando con el estudio realizado en 1991, se obtiene un volumen de sedimentación total de 104.56 MMC, lo que corresponde a un 16.4% de perdida de la capacidad del embalse hasta el año 2013.

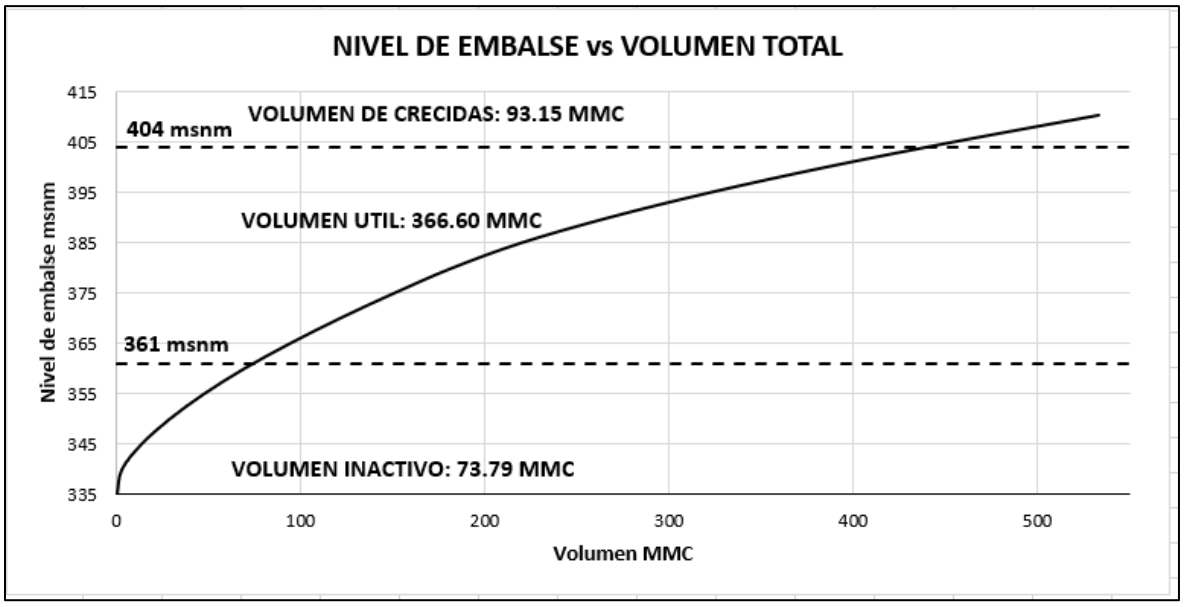


Figura 14 Reservorio Gallito Ciego-Batimetría 2013.
Fuente: H & O Ingeniero, 2013

De los 104.56 MMC sedimentados en el embalse, el mayor porcentaje se ubica en el volumen útil, representando un 57.57% del total (Figura 15), lo cual es desfavorable, pues si el volumen de sedimentos sigue aumentado, afectara en mayor proporción su capacidad, existiendo la posibilidad de que se colmate en su totalidad.

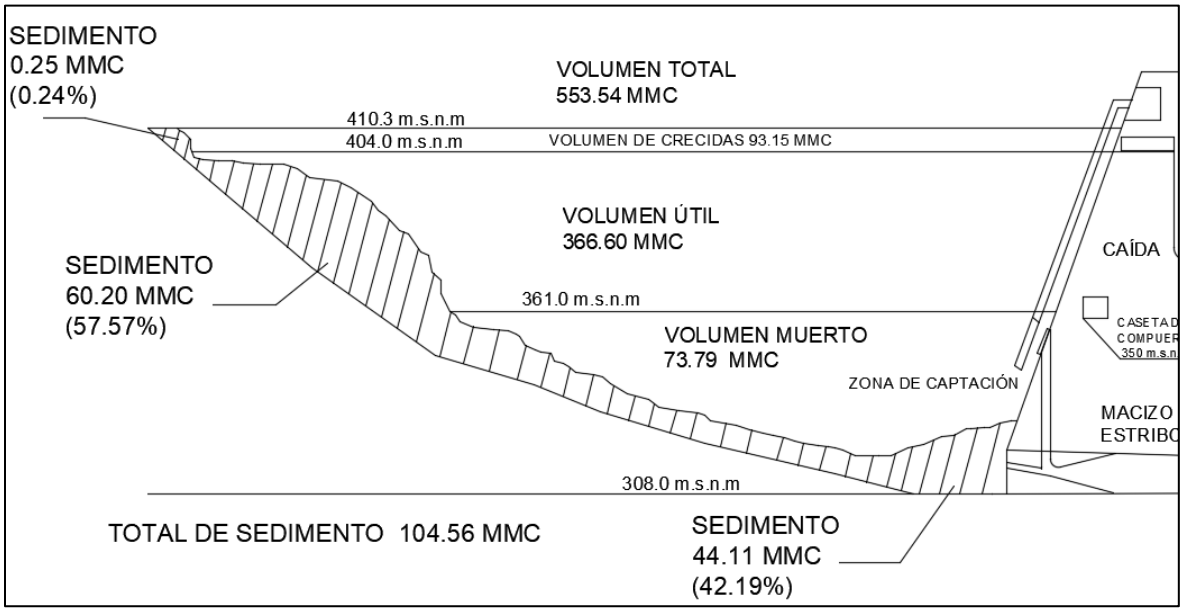
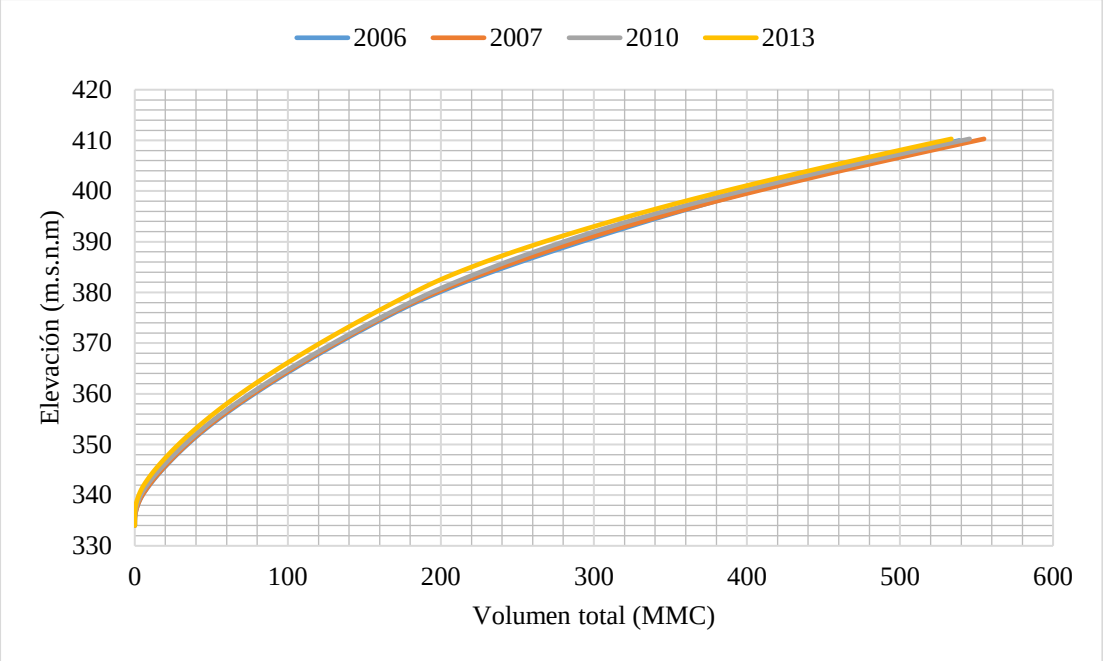


Figura 15 Características hidráulicas del embalse-2013.
Fuente: H & O Ingeniero, 2013
Elaboración: Propia.

De las batimetrías realizadas en los últimos 4 años, la Gráfica 2 muestra las curvas de cota vs volumen total, donde se aprecia que el aumento de los sedimentos retenidos no ha sido muy marcado.

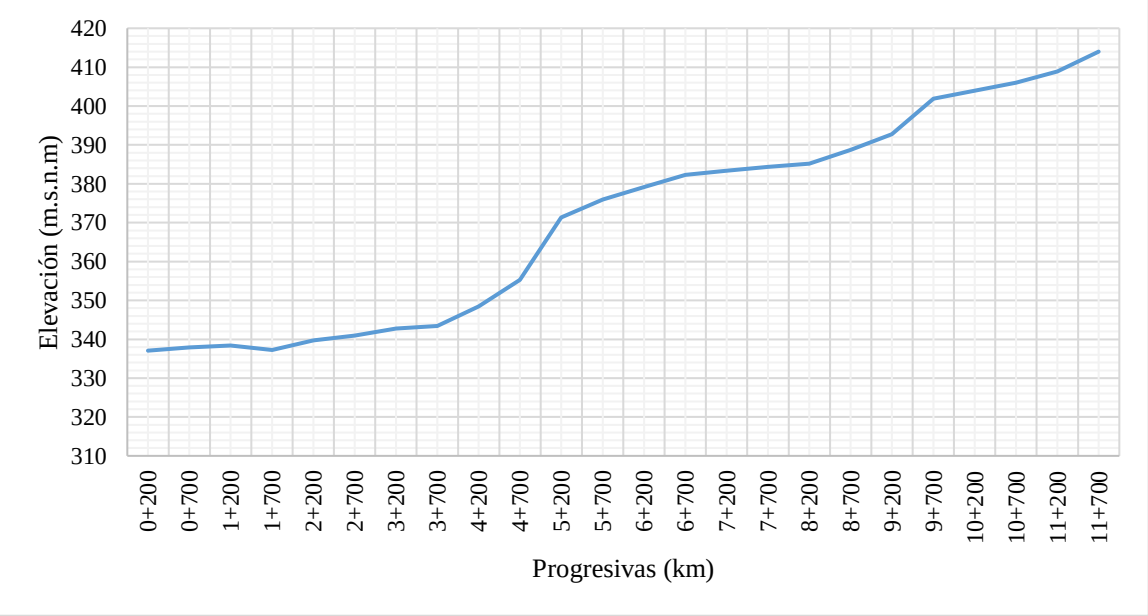


Gráfica 2 Nivel de embalse vs volumen total.
Fuente: H & O Ingeniero, 2013

4.1.3. Batimetría 2017

El PEJEZA realizó el último levantamiento batimétrico en octubre del 2017; al ser este un estudio reciente, toda la información, a la fecha se encuentra en revisión, por lo que los datos y el informe técnico que se obtuvieron son no oficiales.

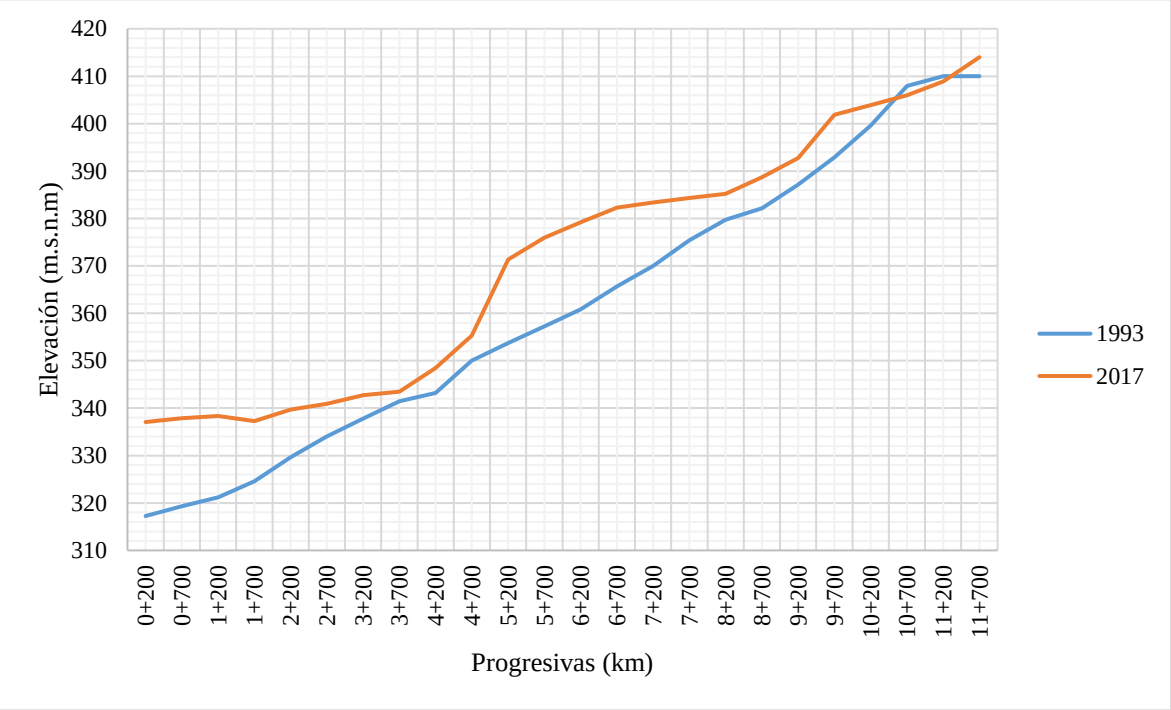
Entre la información recogida, se tiene el perfil longitudinal 2017 (Gráfica 3), el cual presenta una pendiente suave en los primeros 4 km y luego tiene un cambio de pendiente brusco entre las progresivas 5+000 km y 5+500 km aproximadamente, y por último se reduce la pendiente hasta llegar a la progresiva 11+700 km.



Gráfica 3 Perfil longitudinal del embalse Gallito Ciego del año 2017.
Fuente: H & O Ingeniero, 2017

Realizando una comparación con el perfil longitudinal de 1993, la batimetría más antigua con la que se cuenta; se aprecia que existe sedimentación a lo largo de casi todo el embalse, y que solo se presenta erosión entre las progresivas 10+500 km y 11+000 km.

La cota de fondo en la zona más próxima al cuerpo de la presa, al 2017, ha aumentado 20 m, pues en el año 1993 era aproximadamente de 335 m.s.n.m, tal como se muestra en la Gráfica 4. Esto evidencia que en la actualidad la compuerta de captación de fondo se encuentra enterrada.



Gráfica 4 Perfil longitudinal del embalse Gallito Ciego de los años 1993 y 2017.
Fuente: H & O Ingeniero, 2017

Augusto Sayán, director ejecutivo del PEJEZA, informó en el 2015, que la represa de Gallito Ciego estaba preparada para afrontar un periodo de fuertes lluvias y la llegada del FEN. Esto, se podría sustentar, aunque no con total certeza, con los resultados de la batimetría del 2017, pues la capacidad total desde el año 2013, solo disminuyó 7.05 MMC, a pesar de haberse presentado el FEN Costero del 2017.

4.1.4. Granulometría

El análisis granulométrico por tamizado del rio Jequetepeque, fue realizado en el año 2004, cuyo objetivo fue evaluar la capacidad de arrastre de solidos de fondo del río en el tramo de la cola del embalse; por lo que se realizaron 14 muestreos a lo largo del tramo entre la cola del embalse y Pampa Larga (Figura 16).

Según los resultados de la granulometría, se presenta en la Tabla 6 el D_{50} de cada muestra. Estos, permitirán determinar si existe capacidad de arrastre aplicando la metodología propuesta.

Figura 16 Área en estudio.
Fuente Google Earth, 2017

Tabla 6 Diámetro 50 de las muestras.

Muestra	D50 (cm)
M-1	1.378
M-3-1	0.057
M-3-2	0.025
M-4	2.551
M-5-1	1.557
M-5-2	0.000
M-5-3	0.056
M-6	1.270
M-7	2.089
M-8	2.023
M-9	0.831
M-10-1	0.831
M-10-2	0.164
M-10-3	0.130
M-11	1.007
M-12	1.953
M-13	0.508
M-15	1.179
M-16	0.586

Fuente: PEJEZA, 2004

Una vez ubicados los puntos de muestreo según sus coordenadas; en la Figura 17 se puede observar aquellos que se encuentran cercanos a la cola del embalse. Esto permite determinar que solo M-1, M-3 y M-4 caen dentro de esta. En donde M-1 y M-3 se ubican cerca de la sección 8+700 y M-4 cerca de la sección 9+200.

Generalmente por el mecanismo de decantación, las partículas gruesas, que son sedimentos en acarreo; se depositan aguas arriba; y las finas, sedimentos en suspensión, aguas abajo; cerca de la presa. Por lo tanto, si la muestra M-1 se encuentra cercana a la sección 8+700 y tiene un D_{50} de 1.378 cm, se espera que en las secciones más cercanas a la presa se obtenga un D_{50} menor.

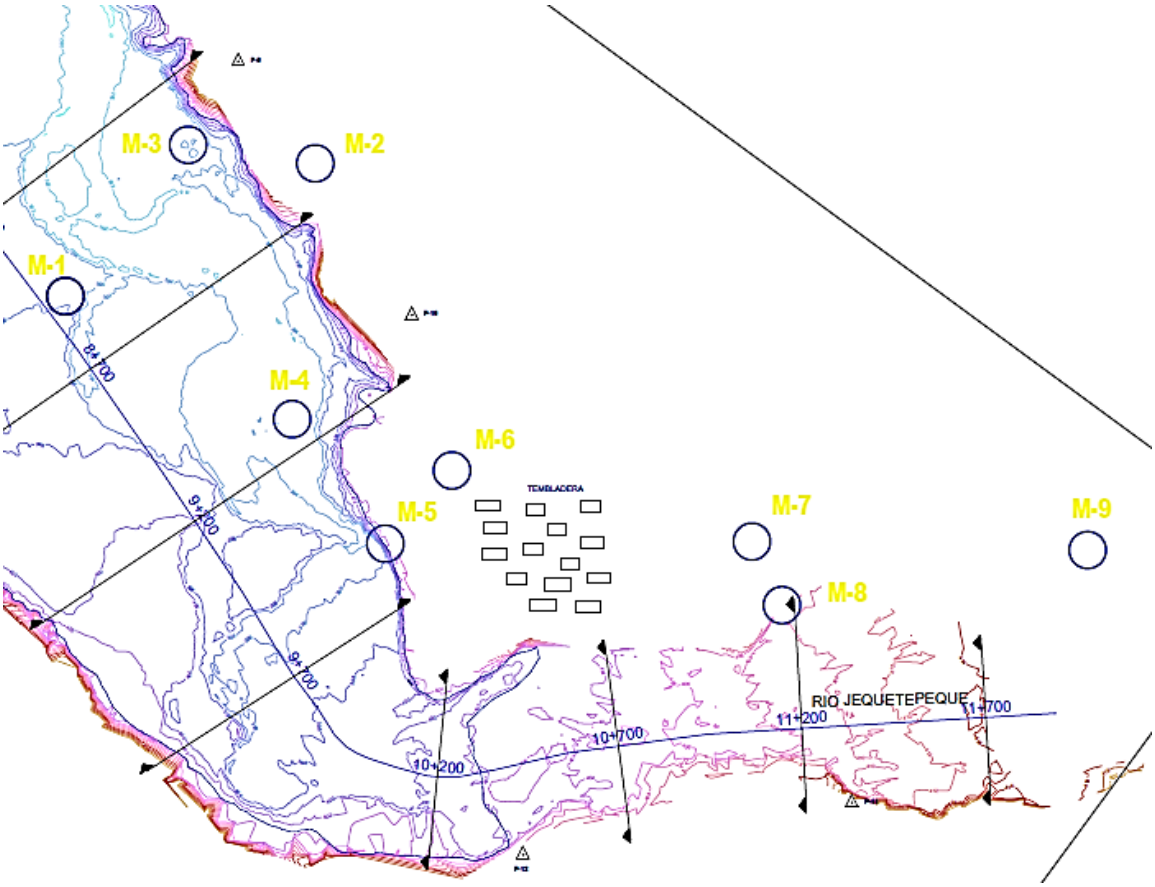


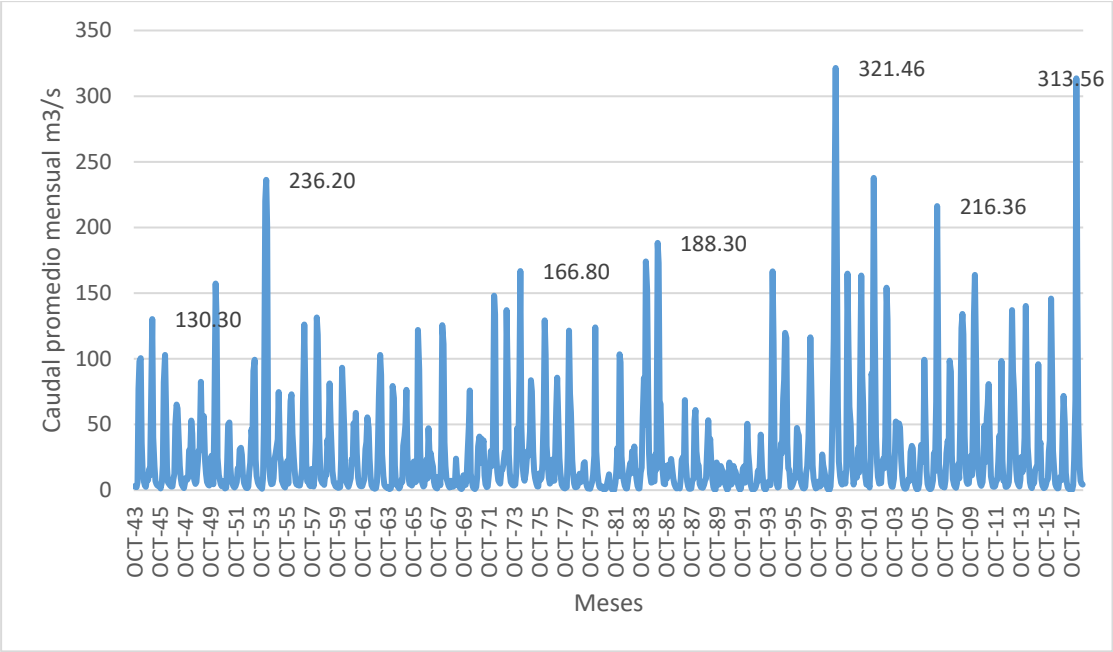
Figura 17 Puntos de muestreo ubicados en el embalse.
Fuente: H & O Ingenieros, 2010
Elaboración: Propia.

4.2. Análisis hidrológico

Para este análisis, se cuenta con los registros del caudal mensual y promedio mensual medido en la estación Yonán, ubicada en las coordenadas 7º 15’ latitud Sur y 79º 6’ longitud Oeste (Figura 18). La estación permite la medición de los caudales del río Jequetepeque aguas arriba del embalse Gallito Ciego, ha sido reconstruida por el PEJEZA y está equipada con un limnígrafo para el registro continuo del nivel del pelo de agua (ANA, 2015).

La Gráfica 5 muestra la situación hidrológica del río Jequetepeque durante el periodo 1942-2017 Los datos han sido dispuestos en forma mensual y se pueden consultar en el **Anexo C.**

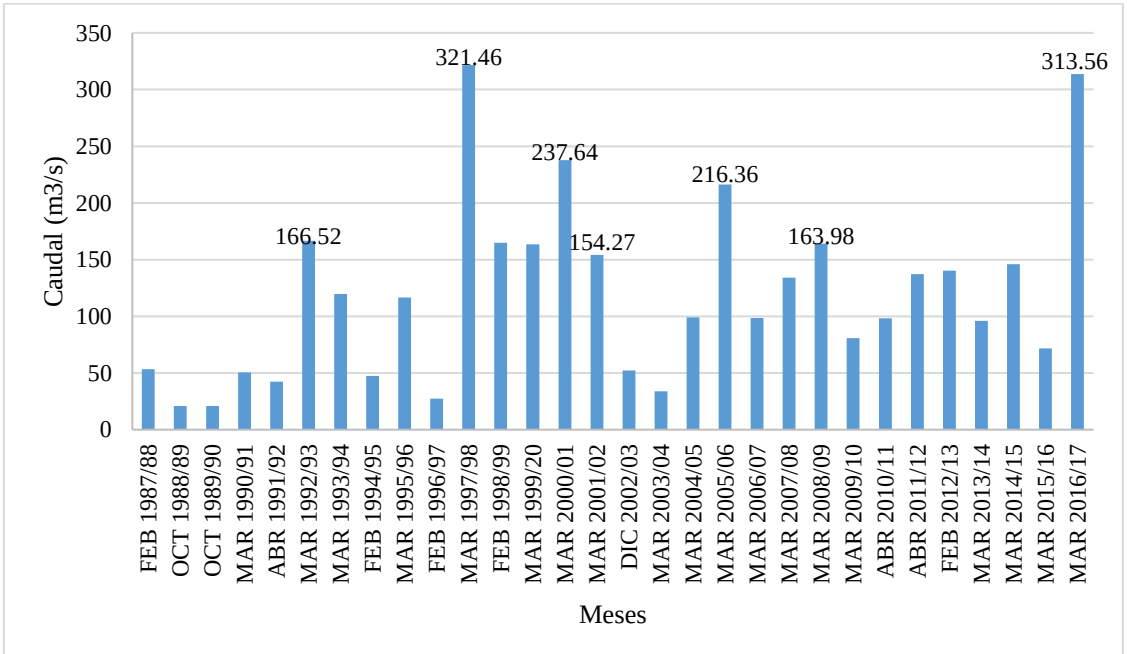
Figura 18 Ubicación de la estación Yonán
Fuente: Google Earth, 2017



Gráfica 5 Caudales promedio mensuales del río Jequetepeque en la estación Yonán, 1942 – 2017.
Fuente: PEJEZA, 2017
Elaboración: Propia.

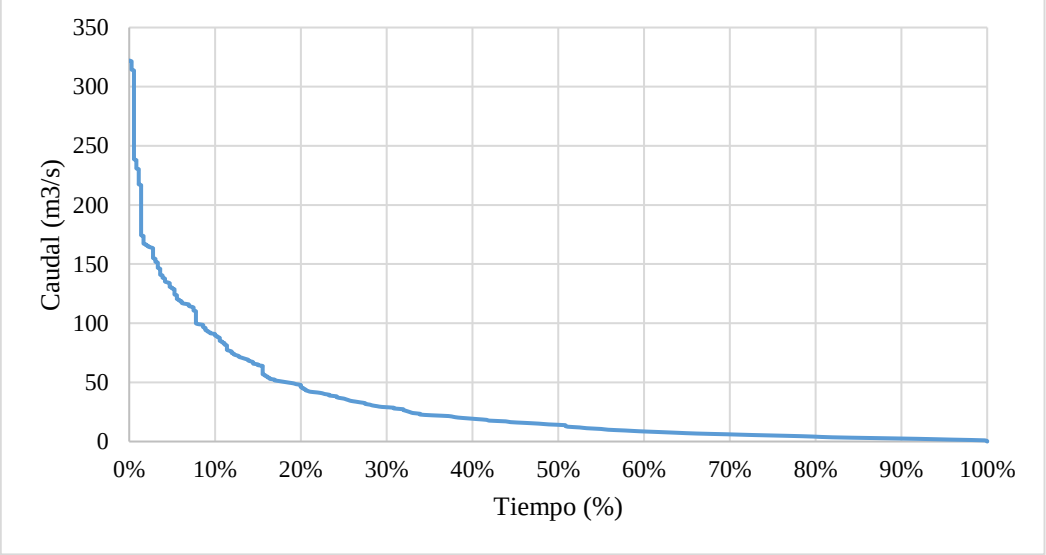
Los eventos mínimos se presentaron en agosto y setiembre del año hidrológico 1979-1980, teniendo un valor de 0.10 m^3/s. El mayor caudal mensual registrado, se dio en marzo del año hidrológico 1997-1998, teniendo un valor de 321.46 m^3/s.

La Gráfica 6 muestra el mes en que ocurrió el caudal máximo en cada año, con la finalidad de obtener un alcance más detallado. Se observa que existen 2 puntos altos en la gráfica, los cuales corresponden a los FEN de 1998 y 2017, con caudales de 321.56 m^3/s y 313.56 m^3/s respectivamente.



Gráfica 6 Caudal máximo mensual del río Jequetepeque en la estación Yonán en el periodo 1988-2017.
Fuente: Elaboración propia.

En la Gráfica 7 se muestra la persistencia de los caudales medios mensuales, la cual indica el porcentaje del tiempo en que probablemente se tendrá un caudal determinado. El 50%, 75% y 90% del tiempo, se tiene un valor de 14.16 m3/s, 5.17 m3/s y 2.53 m3/s respectivamente.



Gráfica 7 Gráfica de persistencia de los caudales mensuales del río Jequetepeque en el periodo de 1988-2017.
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1. Caracterización de años hidrológicos

Según información brindada por el PEJEZA, la clasificación de los tipos de años hidrológicos se ha realizado en base a los datos de las escorrentías anuales del río Jequetepeque medidos en la estación Yonán (Figura 18); con registros desde el año 1943 a la actualidad, incluyendo los FEN durante ese periodo de tiempo (1952/53, 1982/83, 1997/98 y 2017/18). Estos datos se muestran en el **Anexo D.**

En la Tabla 7, se muestra 5 tipos de años hidrológicos; extraordinarios, muy húmedos, normales húmedos, normales secos y muy secos. A pesar de que esta clasificación son datos brindados por el PEJEZA, no se contaba con rangos establecidos que definen el tipo de año. Por lo que se optó en definir estos rangos basados en los datos máximos y mínimos de cada uno.

Tabla 7 Rangos para la clasificación de años hidrológicos (1943-2017).

Tipos de año	MMC Anual
Extraordinario	M>1600
Muy húmedo	1200<M<1600
Normal húmedo	850<M<1200
Normal Seco	550<M<850
Muy seco	M<550

Fuente: Elaboración propia.

La clasificación del tipo de año depende de la masa anual que ingrese al embalse. La masa estacional en época de avenidas (enero-abril) es básicamente quien define el tipo de año, ya que, si es alta, se trata de años muy húmedos o húmedos, pero si es baja, se trata de años

secos o muy secos. Caso contrario se da en épocas de estiaje (septiembre-diciembre) ya que si las masas son altas o bajas no garantizan años húmedos o secos respectivamente.

En los 74 años que se están evaluando, según la clasificación tenemos 5 años extraordinarios, 8 años muy húmedos, 21 años normales húmedos, 20 años normales secos y 20 años muy secos(Tabla 8) En donde en 1997/98 ingresa la máxima masa anual con 2701.20 MMC y en 1979/80 ingresa la mínima con 88.53 MMC.

Tabla 8 Clasificación de años hidrológicos

Año extraordinario	Año muy húmedo	Año normal húmedo	Año normal seco	Año muy seco
1952/53	1983/84	1943/44	1944/45	1949/50
1982/83	1993/94	1947/48	1945/46	1950/51
1997/98	1998/99	1948/49	1946/47	1962/63
2000/01	1999/20	1951/52	1953/54	1965/66
2016/17	2005/06	1955/56	1954/55	1967/68
	2007/08	1956/57	1957/58	1968/69
	2008/09	1961/62	1958/59	1977/78
	2011/12	1966/67	1959/60	1979/80
		1970/71	1960/61	1981/82
		1971/72	1963/64	1984/85
		1972/73	1964/65	1985/86
		1973/74	1969/70	1986/87
		1974/75	1975/76	1987/88
		1976/77	1978/79	1988/89
		1992/93	1980/81	1989/90
		1995/96	2002/03	1990/91
		2001/02	2004/05	1991/92
		2006/07	2010/11	1994/95
		2009/10	2013/14	1996/97
		2012/13	2015/16	2003/04
		2014/15		

Fuente: Elaboración propia.

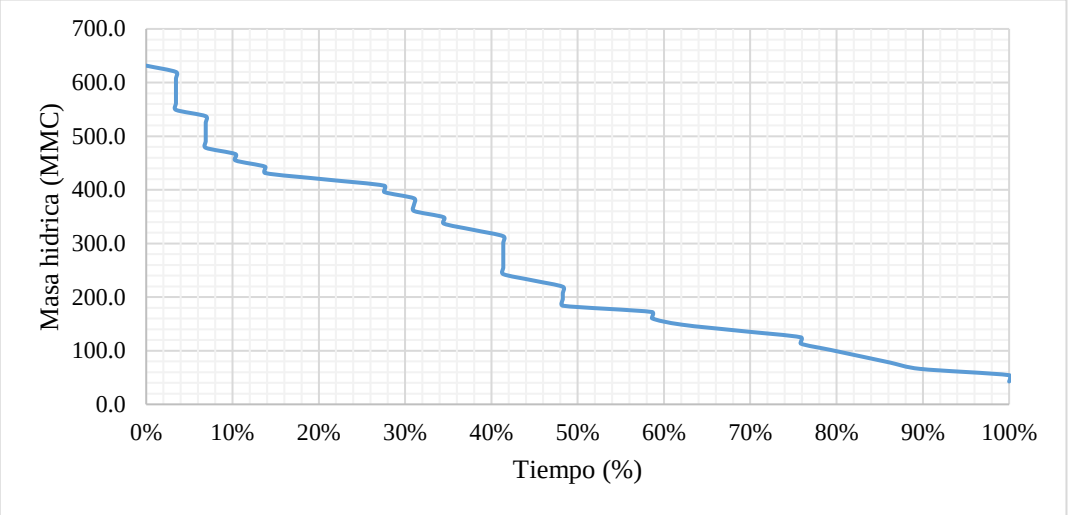
4.2.2. Estadística de caudales

La metodología planteada por la UDEP incluye tener que vaciar el embalse en estudio hasta la cota mínima, tal que permita la limpieza de sedimentos. A este proceso se le establece un tiempo determinado, el cual se define por medio del pronóstico de caudales, para así poder proponer los meses en que se recuperará rápidamente el volumen de agua en el embalse.

Para la estadística de caudales se trabajó con las masas de agua en MMC **(Apéndice A)**, eligiendo el mes más abundante en cada año, suponiendo que la descarga se hará en dicho mes para aprovechar el recurso hídrico. Teniendo en cuenta que se realizará una descarga en el embalse, se debe asegurar la recuperación del recurso, por lo que se escogen los dos meses que le siguen al mes más abundante y se calcula un volumen aproximado de recuperación anual **(Apéndice B)**. Este volumen es la diferencia entre el volumen de descarga y lo que se llenará en los dos meses siguientes

Con el análisis descrito anteriormente, se realiza el gráfico de persistencia para evaluar el volumen de recuperación que se mantiene en un porcentaje de tiempo determinado. En la

Gráfica 8 , tenemos que al 50%, 75% y 90% del tiempo, le corresponde un valor de 181.80 MMC, 126.68 MMC y 66.2 MMC de volumen de recuperación, respectivamente.



Gráfica 8 Curva de persistencia de volumen de recuperación.
Elaboración: Propia.

4.3. Análisis hidráulico

Para el análisis hidráulico se realizó la modelación en HEC-RAS del embalse Gallito Ciego; en el que se utilizó la geometría de la batimetría del año 2017, ya que es la última registrada. El modelo numérico utiliza la geometría de sus secciones transversales, las distancias interseccionales, y propiedades hidráulicas del embalse, así como son el coeficiente rugosidad de Manning (n) y los coeficientes de pérdidas locales por expansión y contracción del flujo.

Según las batimetrías realizadas, el PEJEZA divide el embalse en 24 secciones, empezando en la progresiva 0+200 km y terminando en la 11+700 km, con una distancia de 500 m entre cada una de estas (Figura 19). Al tratarse de un embalse de tierra, el coeficiente de rugosidad de Manning será 0.025; además, para la evaluación de las pérdidas locales por expansión y contracción se han considerado los coeficientes de 0.30 y 0.10 respectivamente.

Como se ha mencionado anteriormente, la compuerta de captación de fondo, situada en el nivel 315 m.s.n.m, se encuentra enterrada a una profundidad de 20 m por debajo de los sólidos. Por ende, previo a la aplicación de la metodología UDEP, se propone hacer una excavación en los primeros 200 m del embalse, con la finalidad de llegar a la cota 315 m.s.n.m, despejando así la compuerta de fondo.

Una vez despejada esta compuerta se espera tener un tirante crítico y un aumento en la velocidad para iniciar la erosión de manera natural, formando una pendiente constante (Gráfica 9); de esta manera, si se confirma la capacidad de arrastre del embalse, se garantizar su limpieza.

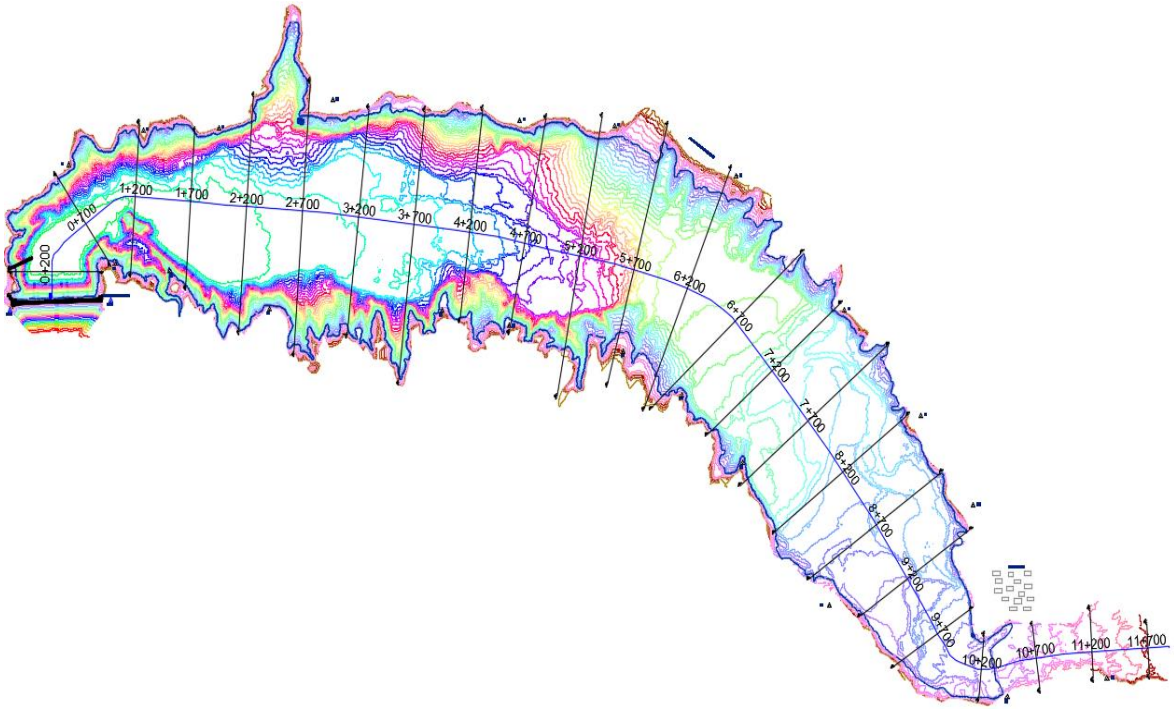
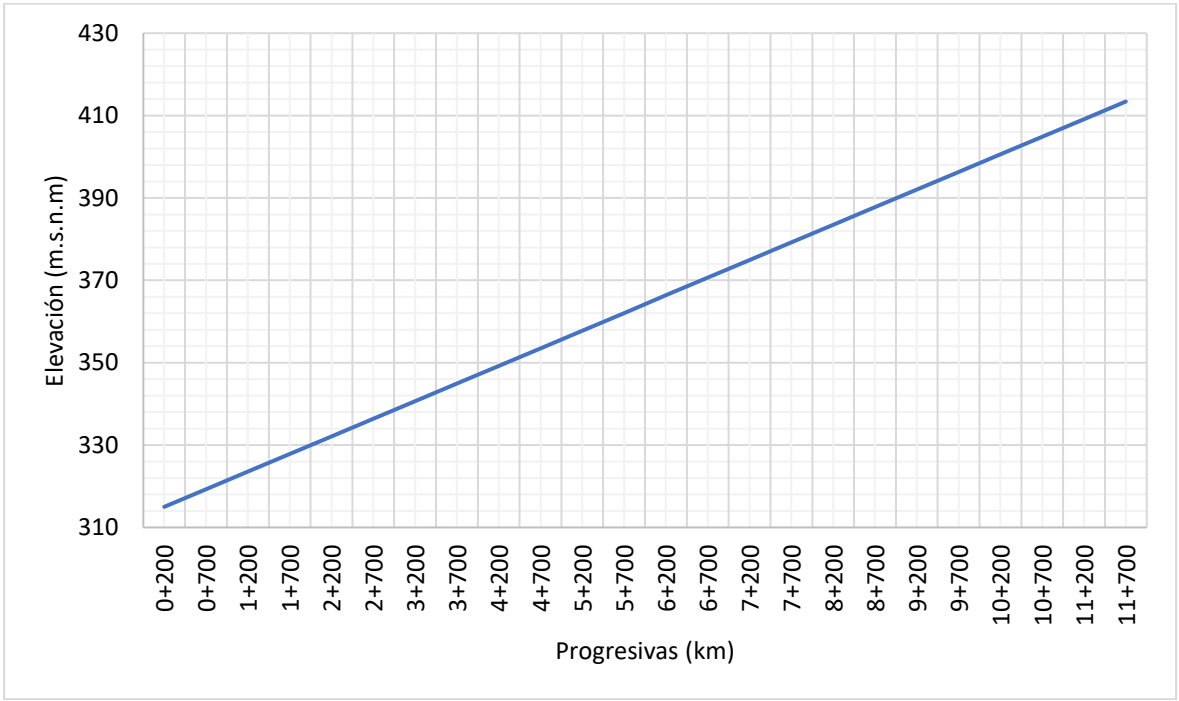
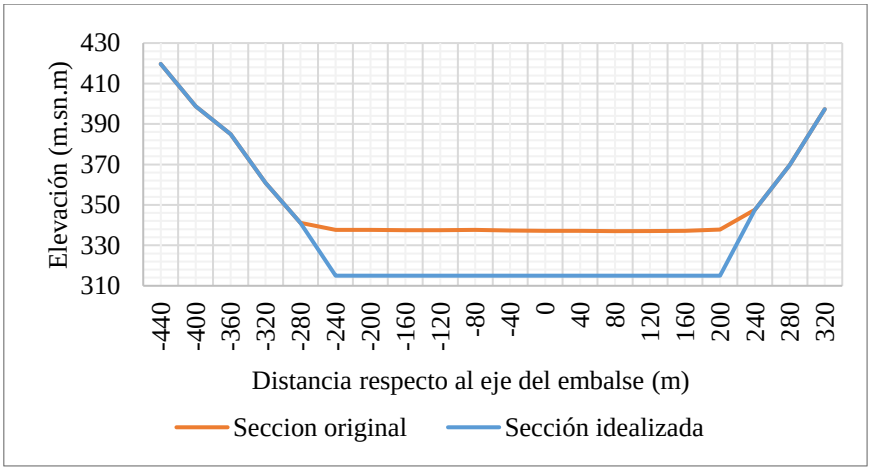


Figura 19 Ubicación de las secciones en el embalse Gallito Ciego.
Fuente: H & O Ingenieros, 2010.

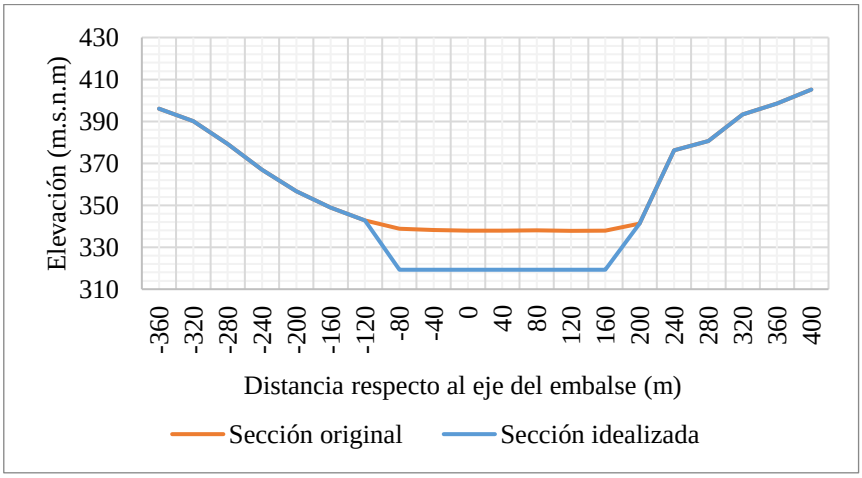


Gráfica 9 Idealización del perfil longitudinal 2017.
Elaboración: Propia.

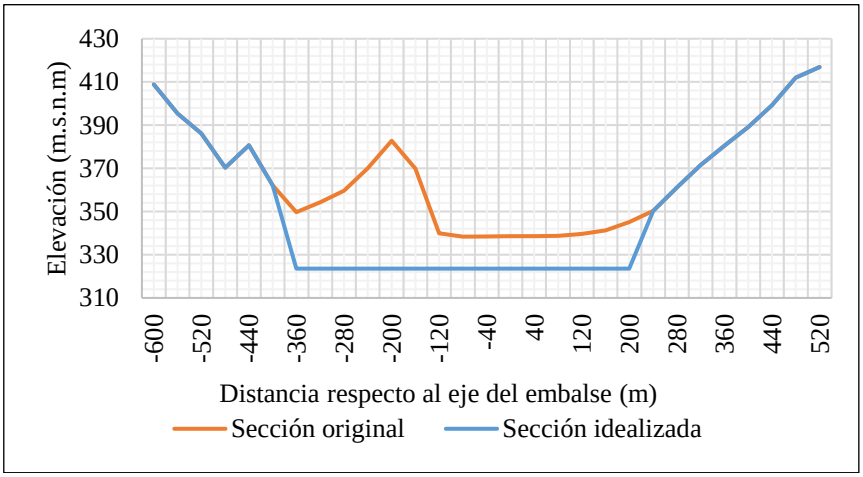
La idealización de la erosión natural provoca el cambio en el perfil longitudinal, por ende, sus secciones transversales también cambiarán. El cambio más representativo se da en el fondo de la sección, teniendo una elevación constante en el centro de la misma, esta cota es definida en la idealización del perfil longitudinal, usando una pendiente constante. De la Gráfica 10 a la Gráfica 33 se presenta estos cambios de secciones, los cuales se utilizaron en la ejecución del modelo.



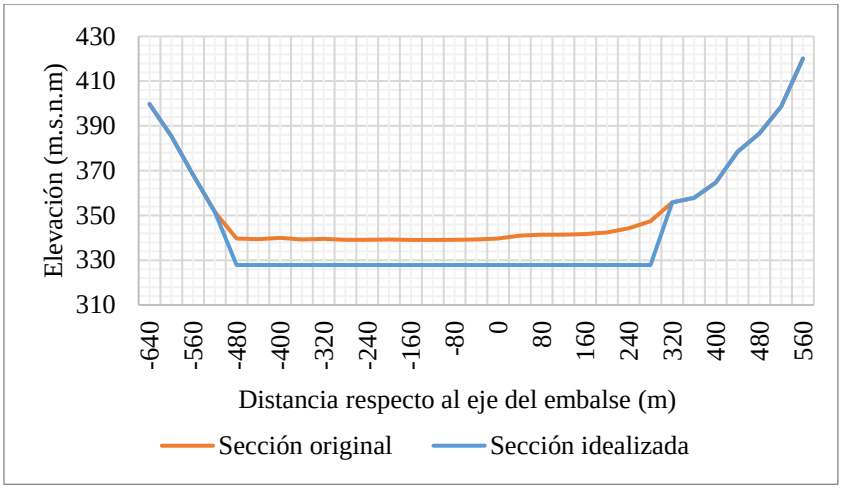
Gráfica 10 Sección 0+200 del embalse Gallito Ciego.
Elaboración: Propia.



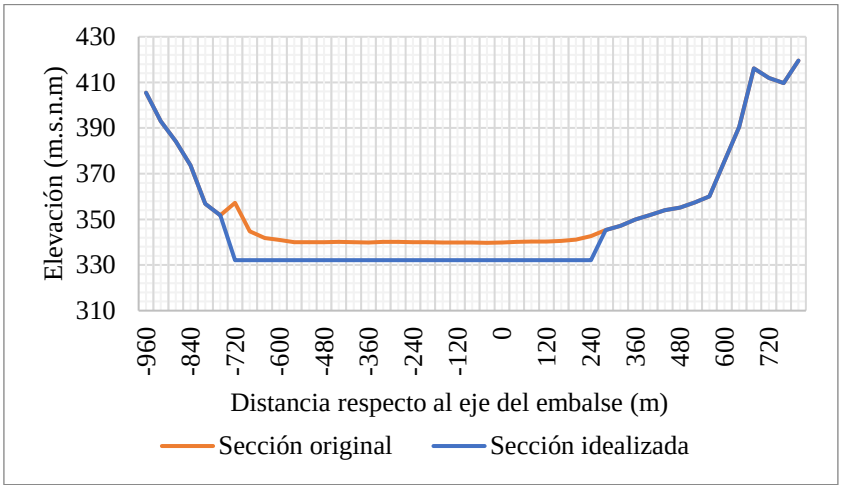
Gráfica 11 Sección 0+700 del embalse Gallito Ciego.
Elaboración: Propia



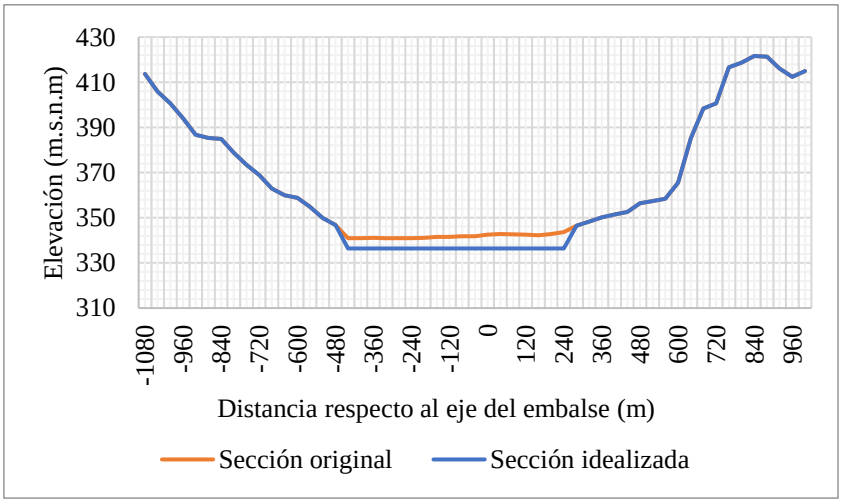
Gráfica 12 Sección 1+200 del embalse Gallito Ciego.
Elaboración: Propia.



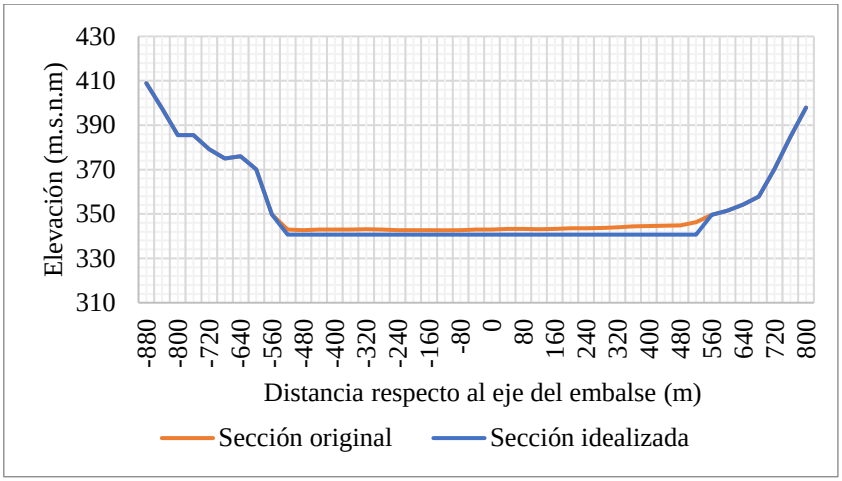
Gráfica 13 Sección 1+700 del embalse Gallito Ciego.
Elaboración: Propia.



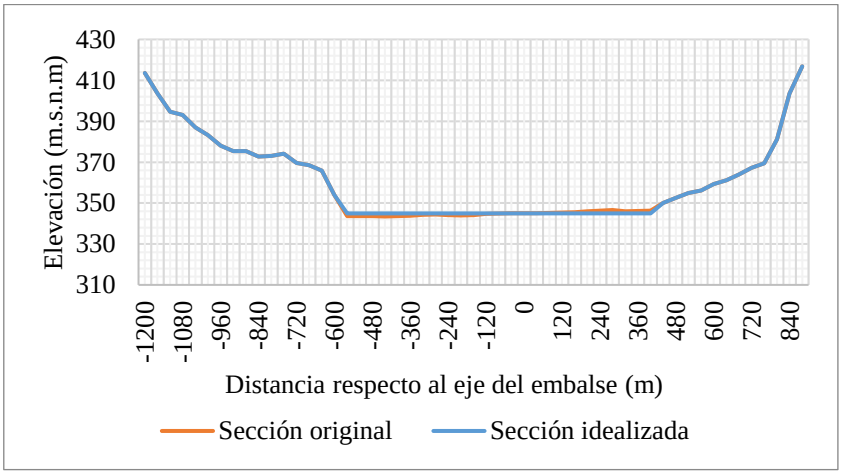
Gráfica 14 Sección 2+200 del embalse Gallito Ciego.
Elaboración: Propia.



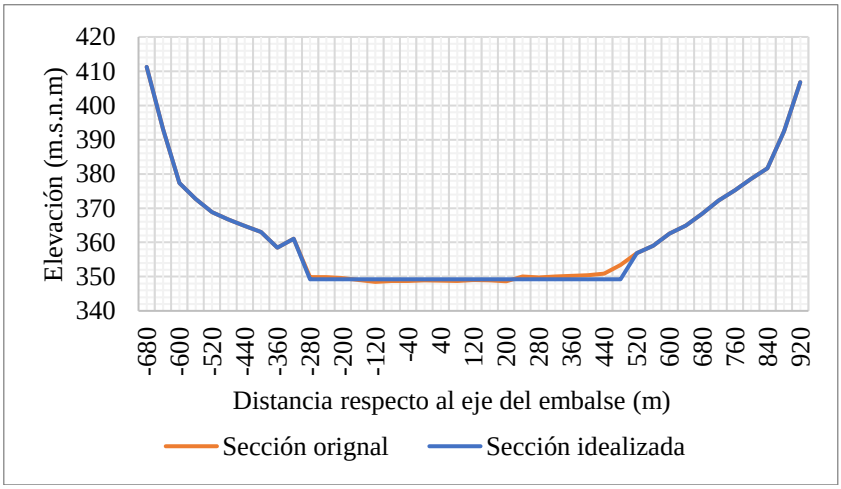
Gráfica 15 Sección 2+700 del embalse Gallito Ciego.
Elaboración: Propia.



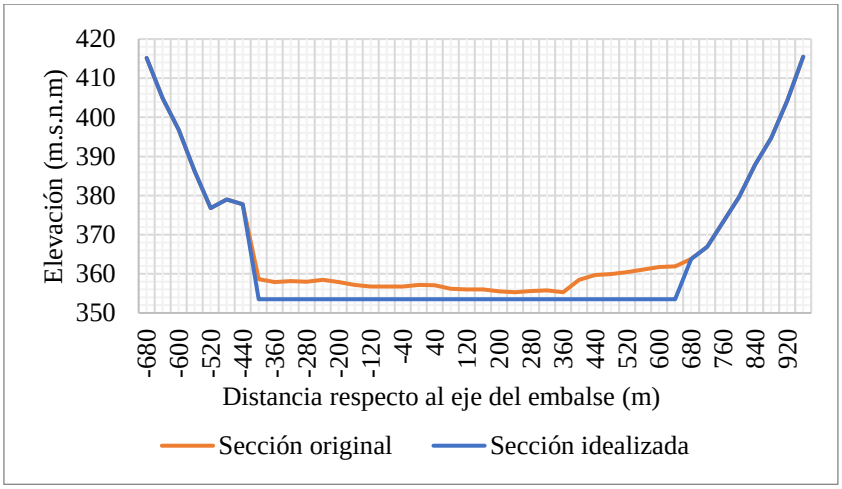
Gráfica 16 Sección 3+200 del embalse Gallito Ciego.
Elaboración: Propia.



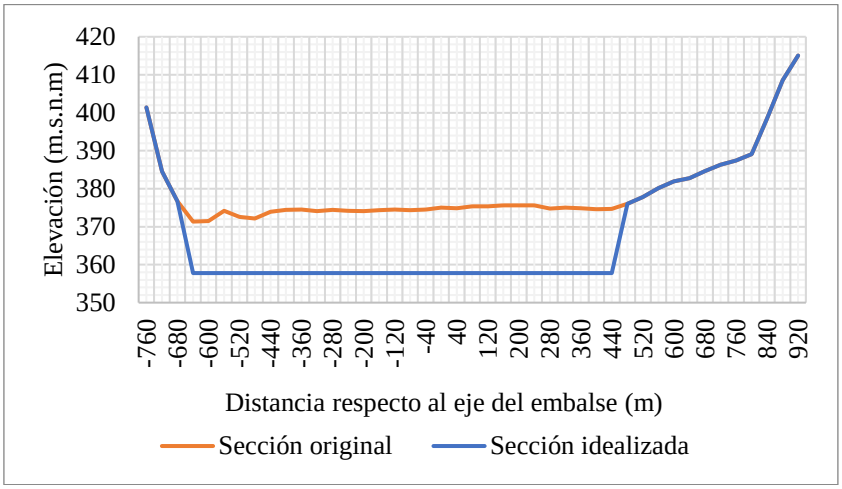
Gráfica 17 Sección 3+700 del embalse Gallito Ciego.
Elaboración: Propia.



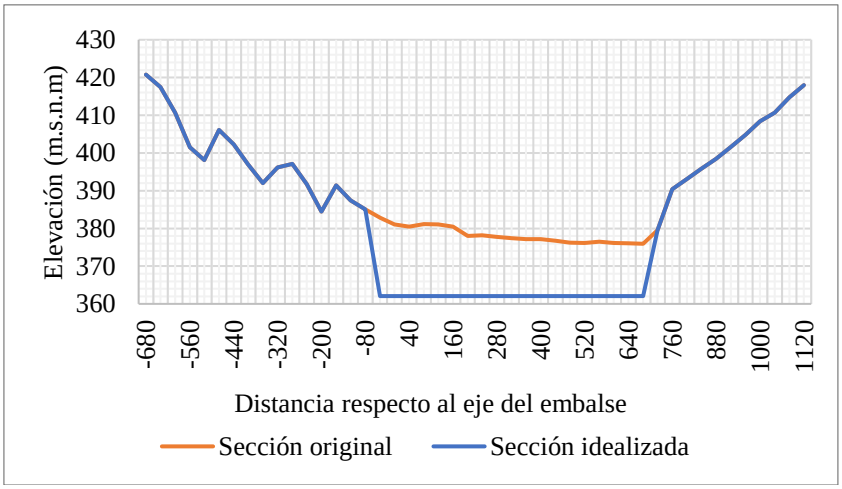
Gráfica 18 Sección 4+200 del embalse Gallito Ciego.
Elaboración: Propia.



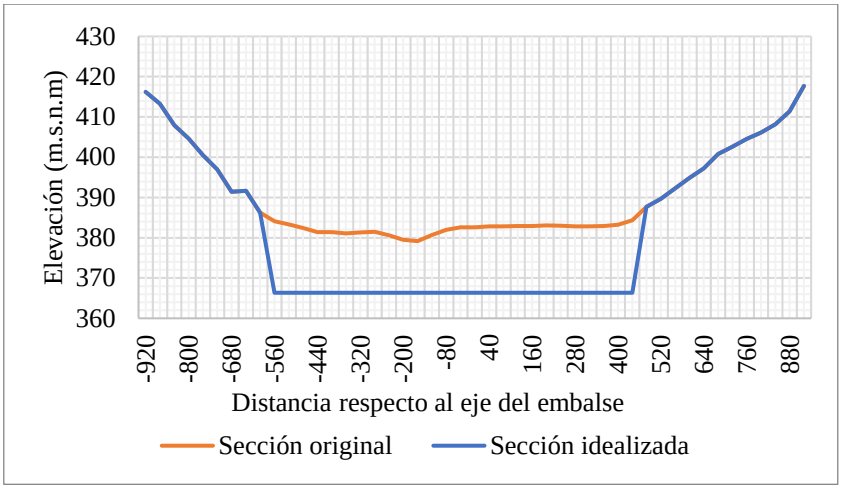
Gráfica 19 Sección 4+700 del embalse Gallito Ciego.
Elaboración: Propia.



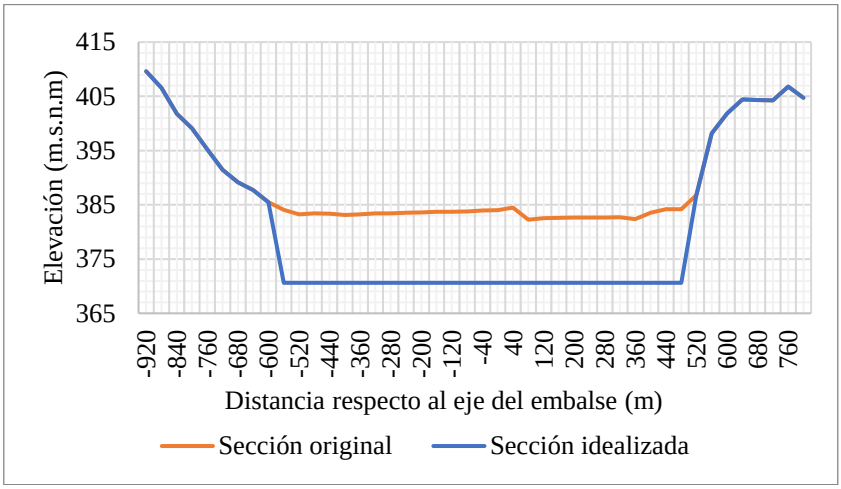
Gráfica 20 Sección 5+200 del embalse Gallito Ciego.
Elaboración: Propia.



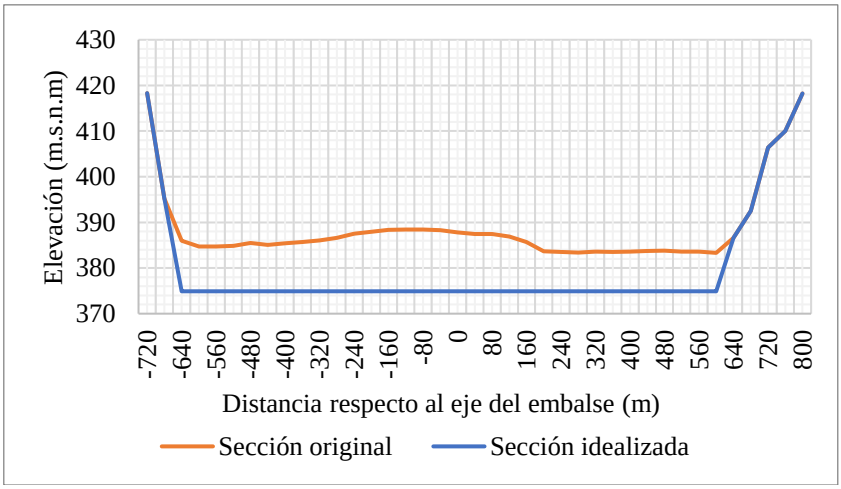
Gráfica 21 Sección 5+700 del embalse Gallito Ciego.
Elaboración: Propia.



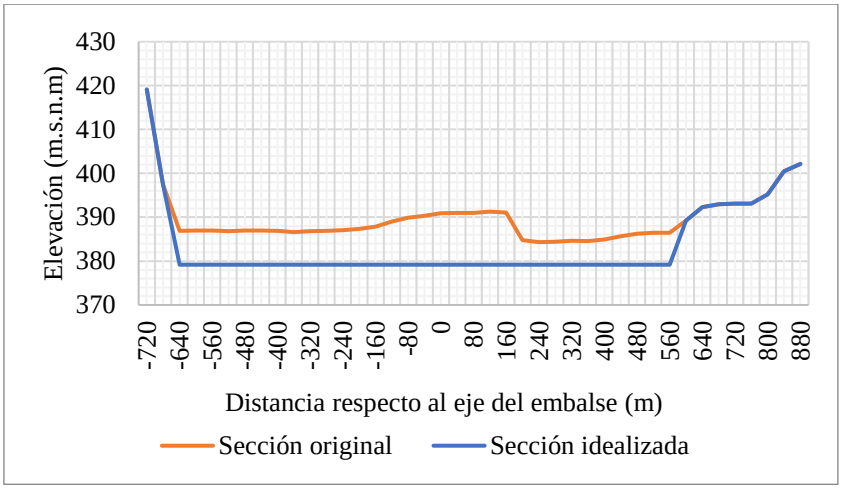
Gráfica 22 Sección 6+200 del embalse Gallito Ciego.
Elaboración: Propia.



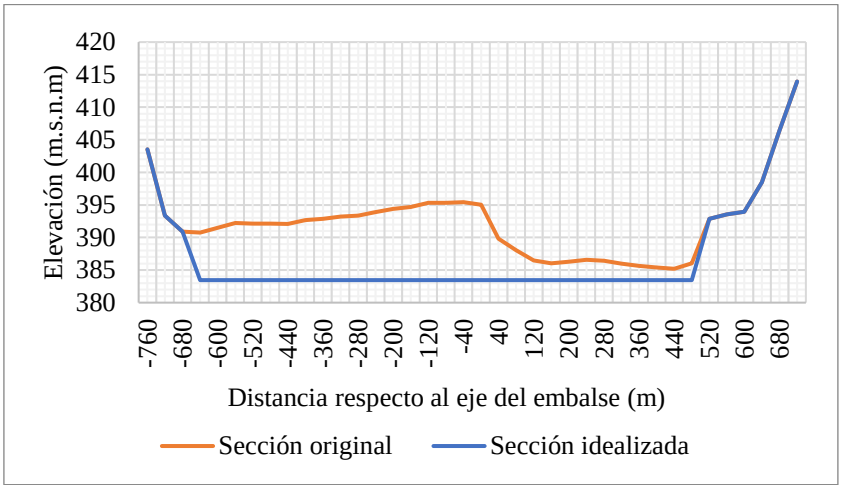
Gráfica 23 Sección 6+700 del embalse Gallito Ciego.
Elaboración: Propia.



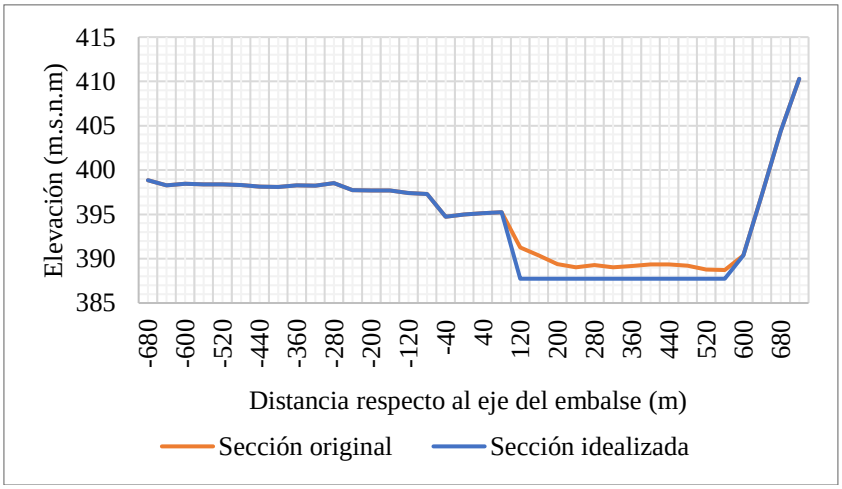
Gráfica 24 Sección 7+200 del embalse Gallito Ciego.
Elaboración: Propia.



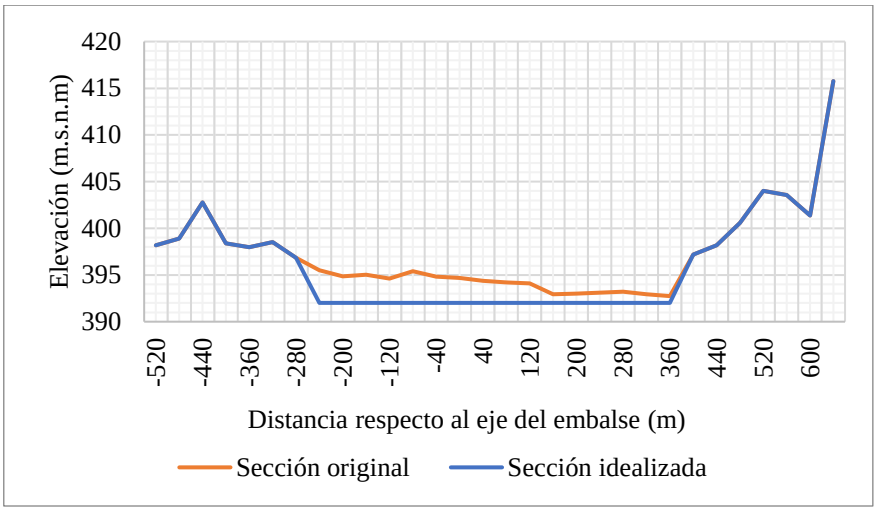
Gráfica 25 Sección 7+700 del embalse Gallito Ciego.
Elaboración: Propia.



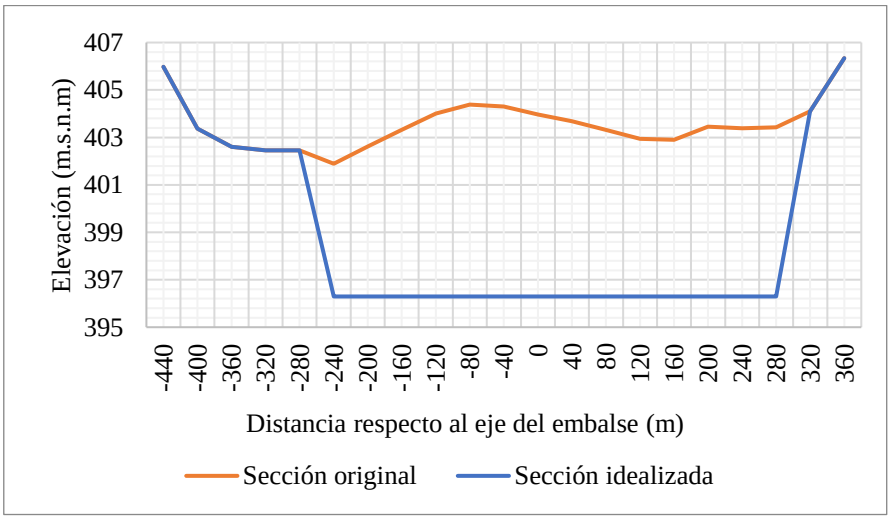
Gráfica 26 Sección 8+200 del embalse Gallito Ciego.
Elaboración: Propia.



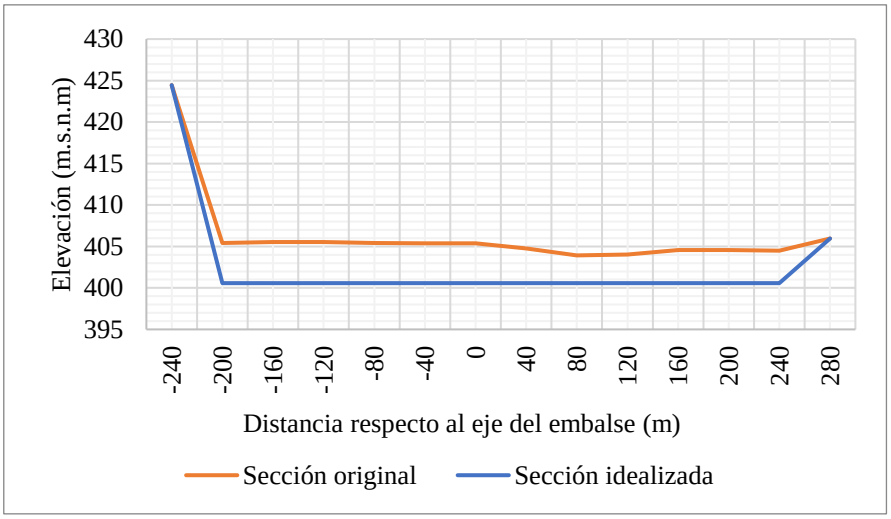
Gráfica 27 Sección 8+700 del embalse Gallito Ciego.
Elaboración: Propia.



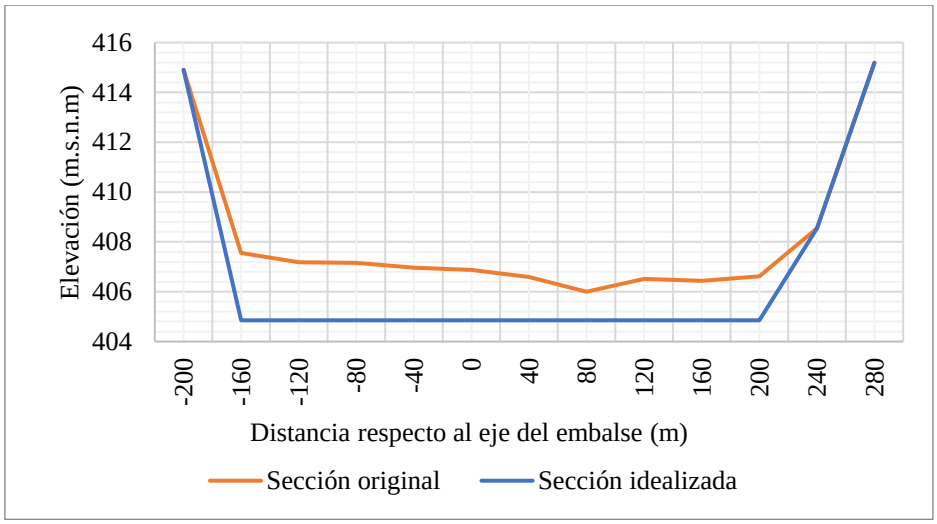
Gráfica 28 Sección 9+200 del embalse Gallito Ciego.
Elaboración: Propia.



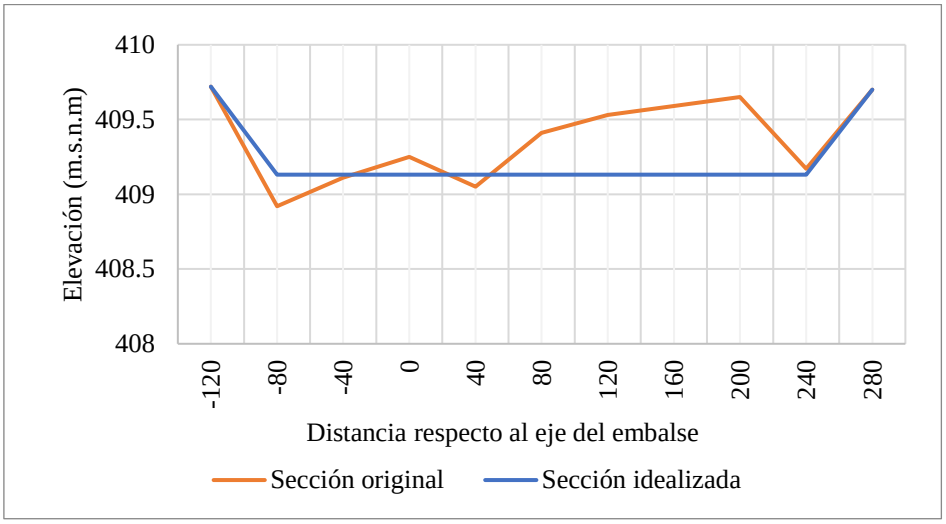
Gráfica 29 Sección 9+700 del embalse Gallito Ciego.
Elaboración: Propia.



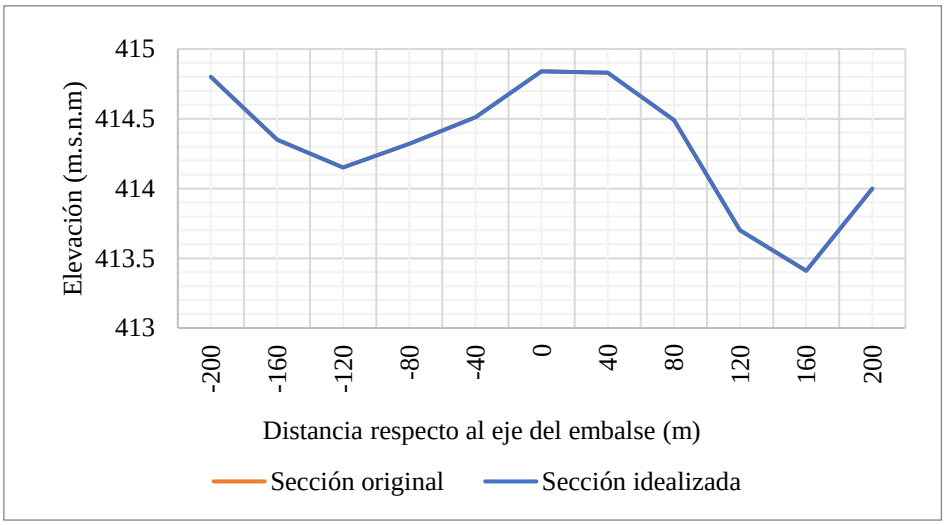
Gráfica 30 Sección 10+200 del embalse Gallito Ciego.
Elaboración: Propia.



Gráfica 31 Sección 10+700 del embalse Gallito Ciego.
Elaboración: Propia.



Gráfica 32 Sección 11+200 del embalse Gallito Ciego.
Elaboración: Propia.



Gráfica 33 Sección 11+700 del embalse Gallito Ciego.
Elaboración: Propia.

Para el análisis se ha considerado un caudal mensual de 60m^3/s, este es factible según la data hidrológica histórica, pues en más de la mitad de los años registrados se ha sobrepasado dicho caudal. Además, se consideró una condición de borde de 316.20 m, ya que la altura de la compuerta de captación de fondo es de 1.20 m. Con todos estos datos procedemos a hacer la corrida del programa, obteniendo como resultados los que se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9 Resultados del Hec ras

Sección	Q (m3/s)	Cota inferior del cauce de la sección (m)	Altura de la lámina del agua (m)	Pendiente energética
0+200	60	413.41	414.01	0.008332
0+700	60	409.13	409.3	0.007506
1+200	60	404.85	405	0.009966
1+700	60	400.57	400.71	0.007491
2+200	60	396.3	396.42	0.009963
2+700	60	392.02	392.14	0.007465
3+200	60	387.74	387.87	0.009745
3+700	60	383.46	383.54	0.007845
4+200	60	379.18	379.25	0.009399
4+700	60	374.9	374.98	0.007851
5+200	60	370.62	370.7	0.009327
5+700	60	366.34	366.43	0.007846
6+200	60	362.07	362.17	0.009206
6+700	60	357.79	357.88	0.006688
7+200	60	353.51	353.59	0.011362
7+700	60	349.23	349.34	0.006593
8+200	60	344.95	345.03	0.011739
8+700	60	340.67	340.76	0.006506
9+200	60	336.39	336.49	0.011581
9+700	60	332.11	332.2	0.006649
10+200	60	327.84	327.93	0.011286
10+700	60	323.56	323.69	0.006613
11+200	60	319.28	319.47	0.010797
11+700	60	315	316.2	0.000006

Elaboración: Propia.

Con estos resultados se procede a hallar el esfuerzo de flujo (Ecuación 1) y el esfuerzo resistente (Ecuación 2). Al igualar ambos esfuerzos se podrá calcular el diámetro de partícula con el cual se empezará el arrastre de los sólidos; con los diámetros que se obtendrán y los diámetros de la granulometría mostrados en el acápite 4.1.4 se podrá determinar la capacidad de arrastre que existe en las diferentes secciones analizadas.

$$\text{Esfuerzo de flujo} = \gamma.Y.g.Ie \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

γ = Peso específico del agua (Kg/m^3)
Y=Tirante (m)
g= gravedad (m/s^2)
Ie= Pendiente energética

$$\text{Esfuerzo resistente} = 0.063.(\gamma_{\text{sólido}} - \gamma_{\text{agua}}).g.d \qquad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde:

0.063 es una constante
$\gamma_{sólido}$= Peso específico del sólido (Kg/m^3)
γ_{agua}= Peso específico del agua (Kg/m^3)
d= Diámetro de la partícula (m)

Una vez aplicadas las ecuaciones se obtienen los diámetros mostrados en la Tabla 10.

Tabla 10 Diámetros de las partículas que arrastra cada sección.

Sección	diámetro (m)	diámetro (cm)
0+200	0.0481	4.809
0+700	0.0123	1.228
1+200	0.0144	1.438
1+700	0.0101	1.009
2+200	0.0115	1.150
2+700	0.0086	0.862
3+200	0.0122	1.219
3+700	0.0060	0.604
4+200	0.0063	0.633
4+700	0.0060	0.604
5+200	0.0072	0.718
5+700	0.0068	0.679
6+200	0.0089	0.886
6+700	0.0058	0.579
7+200	0.0087	0.874
7+700	0.0070	0.698
8+200	0.0090	0.903
8+700	0.0056	0.563
9+200	0.0111	1.114
9+700	0.0058	0.576
10+200	0.0098	0.977
10+700	0.0083	0.827
11+200	0.0197	1.973
11+700	0.0001	0.007

Elaboración: Propia.

Se observa que las primeras secciones tienen un diámetro mayor que las secciones posteriores, por lo que se concluye que su capacidad de arrastre es mayor. En la sección 11+700 se tiene un diámetro de partículas removidas de 0.007 cm, siendo el más pequeño, por ende, se asume que su capacidad de arrastre es nula.

De los resultados obtenidos de la modelación se observa que las primeras secciones tienen la capacidad de remover partículas con un diámetro promedio mayor a 1 cm, por lo que podemos asumir que si se tendrá capacidad de arrastre en estas secciones. Esto se concluye, pues en la granulometría analizada en el acápite 4.1.4 se sabe que el diámetro a remover será menor que 1 cm por el mecanismo de decantación presente en el embalse.

Con estos resultados se puede concluir que, si es factible la aplicación de la metodología UDEP al embalse Gallito Ciego, según su capacidad de arrastre, pues se puede garantizar

una limpieza hasta la sección 5+200, siendo casi la mitad del embalse que se lograría recuperar.

4.4. Propuestas económicas de alternativas de descolmatación

Se busca una alternativa de descolmatación económicamente viable y que garantice la limpieza del embalse, por lo que se procede a comparar las propuestas planteadas por el PEJEZA y por la UDEP.

4.4.1. Alternativas planteadas por el PEJEZA para la evacuación de sedimentos

Según el informe técnico publicado por el PEJEZA en el 2016, luego de la ocurrencia del FEN en 1998, se produjo un incremento brusco en la sedimentación del embalse, por lo cual se realizaron pruebas para lograr su descolmatación:

- Se utilizó minas marinas con carga controlada para producir una explosión y así lograr remover el sedimento, para luego ser evacuado por la captación de servicio, sin embargo, la velocidad de remoción era muy lenta y no se conseguía evacuarlo.
- Se usó una perforadora vertical gigante equipada con un taladro giratorio con puntas de diamante y una bomba de succión, esta alternativa se desechó debido al alto costo del bombeo y la poca capacidad de succión.

Luego de realizar las pruebas, se establecieron 4 alternativas de solución, cuyos montos estimados de ejecución han sido determinado por el PEJEZA:

- **No hacer nada.**

  Si no se hace nada, continúa la colmatación del embalse, lo cual en un futuro afectará la agricultura y la generación de energía, incluyendo perdidas económicas. Se ha establecido que los efectos de la reducción en el suministro de agua para la segunda campaña de los cultivos se sentirían en el año 2029, en tanto, el efecto a la campaña principal se sentirá en el año 2053. Esto significa que no es urgente la construcción de obras para el control de la colmatación. Las pérdidas económicas de no hacer nada se han establecido en US$ 5.88 millones. Por tanto, cualquier alternativa por encima de este monto, se plantea no será económicamente viable.

- **Protección/tratamiento de zonas críticas de la cuenca para reducir la erosión y transporte de sedimentos.**

  Implica ejecutar medidas estructurales y no estructurales, en zonas críticas de la cuenca a fin de reducir la producción de sólidos. Se busca disminuir el efecto erosivo del cauce. Los costos en obras principales para esta alternativa se han estimado en US$ 153.50 millones y solo reduce la colmatación en 1 MMC/año.

- **Construcción de un Canal/Túnel By Pass hacia la Quebrada Caracol.**

  Considera la construcción de un canal By pass para impedir que los excedentes de descarga del río Jequetepeque ingresen al embalse y desviarlos hacia la quebrada Caracol. Esta alternativa lleva consigo la construcción de una presa derivadora, un túnel,

diseñar un cauce, entre otros. Su costo se eleva a más de US$ 52 millones solo en la obra principal y permitiría reducir la colmatación en 1.70 MMC/año.

- **Construcción de presa para retención de materiales de acarreos y decantación de sólidos en suspensión.**

  Considera la construcción de embalses, para la retención y decantación de sólidos en suspensión. Su construcción estima un costo que va de US$ 78 millones a 154 millones, con una retención de 1.70 a 2.50 MMC/año.

Todas las alternativas planteadas anteriormente, son muy costosas y tienen un impacto parcial en el control de la colmatación puesto que la mayoría de solidos se transporta en suspensión. Por ello no son viables económicamente y se descartaron como soluciones; con lo cual el PEJEZA mantiene el no realizar ninguna acción ante el aumento en la retención de sedimentos dentro del embalse.

4.4.2. Alternativa planteada por la metodología de descolmatación UDEP

Como se ha mencionado anteriormente en el acápite 4.3, se necesita despejar la compuerta de captación de fondo antes de aplicar la metodología, por lo que se recomienda excavar una profundidad de 20 m en los primeros 200 m del embalse, con un ancho de 10 m. Esto nos da un volumen de excavación de 40 000 m^3. El costo aproximado de m^3 de excavación es US$ 17, elevando el costo a US$ 680 mil. Este es un costo previo a la implementación de la metodología.

En proporción al análisis económico realizado al embalse Poechos correspondiente a la aplicación de la metodología de descolmatación, y considerando que las dimensiones de Gallito Ciego son menores; se podría estimar que el costo de la aplicación de la metodología asciende a US$ 600 mil. Cabe resaltar que es un monto aproximado, es decir, no se han realizado cotizaciones exactas del mismo.

Comparando esta metodología con la alternativa más económica planteada por el PEJEZA, “no hacer nada”; se cumple con no sobrepasar los US$5.8 millones, por lo que se considera una propuesta económicamente viable.

Cabe resaltar que este es un análisis preliminar de los costos que demandaría implementar la metodología de descolmatación UDEP, pues no es uno de los objetivos de la presente tesis.

Conclusiones y recomendaciones

- El manual de operación vigente del embalse Gallito Ciego no cuenta con normas claramente establecidas, las cuales se deban seguir frente a diferentes situaciones, ya sea en condiciones normales o épocas de avenidas. Lo que sugiere el manual es realizar estudios constantes para decidir qué acciones tomar dependiendo de los resultados. Asimismo, no se cuenta con reglas de operación para la descolmatación del embalse, actualmente solo se busca desacelerar el proceso.

- De acuerdo con los resultados de la última batimetría realizada en el año 2017, el embalse presenta 111.61 MMC de sedimentos acumulados, concentrándose la mayor parte en la zona cercana a la presa. Es muy probable que, si los sedimentos se siguen depositando en dicha zona, la captación de servicio quedaría inoperativa tal como se encuentra la captación de fondo actualmente.

- En la presente investigación solo se contó con la granulometría de la cola del embalse; por tanto, sería conveniente que se realizara este estudio en diferentes zonas del embalse para saber con más precisión las características de las partículas que se depositan en el mismo.

- La compuerta de captación de fondo se encuentra enterrada 20 m por debajo de los sólidos, por ende, inmanejable y fuera de uso temporalmente. Con lo cual, para la aplicación de la metodología UDEP es necesario despejarla; puesto que se requiere su uso para que de operarla adecuadamente se obtenga un tirante crítico y un aumento en la velocidad para iniciar la erosión de manera natural. Para lograrlo se necesitará vaciar el embalse y hacer una excavación en los primeros 200 m, pero esta acción dependerá del PEJEZA ya que se tendrá que disminuir el volumen de demanda.

- El volumen mínimo del embalse para cumplir la demanda de riego es de aproximadamente 200 MMC. Según el análisis hidrológico, el mes más factible para llevar a cabo la metodología es marzo, ya que la data histórica muestra que se podría recuperar dicho caudal en los dos siguientes meses.

- Según el análisis hidrológico, teniendo en cuenta el caudal de 60 m^3/s planteado para aplicar la metodología UDEP, y el volumen de recuperación presentados en el Apéndice A; hubiera sido posible implementar esta metodología en 14 de los 30 años de operación del embalse.

- El PEJEZA no aceptara ningún método de descolmatación que sobrepase los US$ 5.88 millones según la alternativa “no hacer nada”, pues plantean, no es

económicamente viable. La UDEP, ofrece una metodología a bajo costo ya que se utiliza la misma energía del agua para lograr la descolmatación. La inversión que incluye esta metodología son los estudios previos a la aplicación y en este caso específico de Gallito Ciego también incluye la excavación en la zona de captación de fondo; monto que no excedería el ya mencionado, pues asciende a aproximadamente US$ 1.28 millones.

- Con los resultados obtenidos se ha demostrado la capacidad de arrastre dentro del embalse, por lo tanto, se puede garantizar el éxito de la aplicación de la metodología de descolmatación UDEP. La cual es necesaria ya que presenta un aumento constante de sedimentación; además, se recomienda actuar antes de que el problema sea irreversible.

Bibliografía

- Admin (2013). *Presas. Tipología*. Recuperado de http://www.nuevaingenieria.com/presas-tipologia/

- Amador (2016). *Principales Tipos de Presas y su Clasificación.* Recuperado de https://masqueingenieria.com/blog/tipos-de-presas-y-su-clasificacion/

- ANA (2015). *Estudio "Evaluación de Recursos Hidricos en la Cuenca de Rio Jequetepeque*". Lima-Perú.

- Arbulu, J. (2016). *Obras Hidráulicas*. Lima-Perú

- Autoridad Administrativa del Agua Jequetepeque Zarumilla (2015*). Estudio" Evaluación de Recursos Hídricos en la Cuenca de Rio Jequetepeque-Aguas Subterráneas".* Lima-Perú

- Autoridad Administrativa del Agua Jequetepeque Zarumilla (2015*). Estudio" Evaluación de Recursos Hídricos en la Cuenca de Rio Jequetepeque-Aguas Superficiales".* Lima-Perú

- Cepes (s.f). *Cuenca del Río Jequetepeque*. Recuperado de http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/diagnostico_calidad_agua-tomo1/diagnostico_calidad_agua_cuenca_rio_jequetepeque.pdf

- Córdova, J. (2015). *Diseño de embalse teniendo en consideración los impactos ambientales.* (Tesis de pregrado). Universidad de Piura. Piura-Perú

- Delgado, R. (1998). *Estudio Inicial de Aporte de Sedimentos del Río Jequetepeque al Embalse Gallito Ciego*.

- Fundación aquae. (s.f). *Aterramiento y Colmatación en los Embalses.* Recuperado de http://www.fundacionaquae.org/wiki-aquae/el-agua-en-espana/aterramiento-y-colmatacion-en-los-embalses/

- Gonzales, I. (2017). *Modelación matemática 1D del proceso de descolmatación en el reservorio de Poechos.* (Tesis de pregrado). Universidad de Piura. Piura-Perú.

- Google earth (2018). *Mapa del embalse Gallito Ciego.* Visto en https://www.google.com/maps/@-7.24115,-79.1599,12062m/data=!3m1!1e3

- Guevara, M (s/f). *Estructuras hidráulicas. Embalses.* https://es.slideshare.net/ronalbg17/embalse-22781814

- Hildebrandt, M. (2014). *Martha Hildebrandt Explica el Significado de Descolmatar*. Recuperado de https://elcomercio.pe/opinion/habla-culta/martha-hildebrandt-explica-significado-descolmatar-290823

- H & O Ingenieros (2010). *Informe técnico final. "Levantamiento topográfico y batimétrico del embalse Gallito Ciego"*.

- H & O Ingenieros (2013). *Informe técnico final. " Levantamiento Topográfico del Embalse Gallito Ciego*". Recuperado de https://es.scribd.com/document/349808745/Batimetria-Gallito-Ciego-2013

- H & O Ingenieros (2017). *Informe técnico final. "Levantamiento topográfico y batimétrico del embalse Gallito Ciego"*.

- Importancia (s/f.). *Importancia de las Represas*. Recuperado en https://www.importancia.org/agua.php

- Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria. (2015). *Desarrollo de una metodología de descolmatación de un reservorio utilizando la misma energía del agua y a un bajo costo. Caso Piloto: Reservorio Poechos.* Hito 1. *Observación y mediciones del canal con las actuales reglas de operación y Modelación Matemática.* Piura-Perú

- Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria. (2015). *Desarrollo de una metodología de descolmatación de un reservorio utilizando la misma energía del agua y a un bajo costo. Caso Piloto: Reservorio Poechos.* Hito 2. *Informe de Avance sobre Análisis sedimentológico y Batimétrico en el Reservorio de Poechos.* Piura-Perú

- Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria. (2017a). *Desarrollo de una metodología de descolmatación de un reservorio utilizando la misma energía del agua y a un bajo costo. Caso Piloto: Reservorio Poechos. Informe de la metodología de descolmatación de un reservorio a un bajo costo, utilizando la misma energía del agua.* Piura-Perú

- Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria. (2017b). *Desarrollo de una metodología de descolmatación de un reservorio utilizando la misma energía del agua y a un bajo costo. Caso Piloto: Reservorio Poechos. Informe final del modelo matemático.* Piura-Perú

- Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria. (2017c). *Desarrollo de una metodología de descolmatación de un reservorio utilizando la misma energía del agua y a un bajo costo. Caso Piloto: Reservorio Poechos. Segundo informe de hidrología.* Piura-Perú

- IPMAP (2009). *Cuenca del Jequetepeque*. Recuperado de http://imagenesplanosmapaspaisajes.blogspot.pe/2009/08/cuenca-del-jequetepeque.html

- Martin, *R. (s.f)* Efectos Hidrogeomorfológicos Aguas Abajo de Embalses. *CIMBRA.* Recuperado desde http://www.academia.edu/26440986/Efectos_hidrogeomorfol%C3%B3gicos_aguas_abajo_de_embalses

- Pastran, A, & Barrera, J. (2010). *Embalses.* Recuperado de https://es.slideshare.net/aldars/embalses

- PEJEZA (2004). *Informe del estudio de pre factibilidad "Protección del embalse gallito ciego de la colmatación por acarreos".* Cajamarca-Perú

- PEJEZA (2016a). *Informes técnicos*: P*roceso de sedimentacion del embalse gallito ciego y plan de accion para la seguridad y evacuacion de sedimentos.* Cajamarca-Perú

- PEJEZA (2016b). *Presentación*. Recuperado de http://www.pejeza.gob.pe/presentacion.php

- PEJEZA (2016c). *Exposición de la presa Gallito Ciego.* Cajamarca-Perú

- PEJEZA (2017). *Histórico año 2017.* Cajamarca-Perú

- Prensa (2017*). Segunda Etapa de Proyecto de Irrigación Gallito Ciego Supera los 959 Millones de Soles*. Recuperado de https://undiario.pe/2017/06/12/segunda-etapa-de-proyecto-de-irrigacion-gallito-ciego-supera-los-959-millones-de-soles

- Quiroz, S. (2016). *Construcción de las Etapas II y II de la Represa Gallito Ciego y su Impacto en la Situación Socio Económico del Sector Agrícola del Valle Jequetepeque.* Recuperado de http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/5116/quiroznu%C3%B1ez_sarita.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Rocha (2006). *"*La problemática de la sedimentación de embalses en el aprovechamiento de los ríos peruanos, aplicada al embalse de Poechos*". Primer congreso internacional de hidráulica, hidrología, saneamiento y medioambiente.* Instituto de la construcción y gerencia

- Sepúlveda, L. (s.f). *Sedimentación en Presas.* Recuperado de http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articuloses/interesantes/sedimentacionpresas/sedimentacionpresas.html

- Significados. (s.f). Recuperado de https://www.significados.com/sedimentacion

- UNESCO (2005). *Principales causas y consecuencias importantes de la sedimentación* https://www.greenfacts.org/es/recursos-hidricos/figtableboxes/4.htm

Anexos

Anexo A. Solicitud de patente

2017/52043

Indecopi

INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA DE LA COMPETENCIA Y DE LA PROTECCIÓN DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL
Calle de la Prosa N° 104, San Borja

DIRECCIÓN DE INVENCIONES Y NUEVAS TECNOLOGÍAS

CLARKE MODET & CO. PERU
RECIBIDO
17 ENE 2018
La recepción de la solicitud es conforme

Lima, 04 de enero de 2018

Exp. N° : 002761-2017/DIN
Fecha de Presentación: 2017-12-18

SOLICITANTE(S) : UNIVERSIDAD DE PIURA

REPRESENTANTE : CLARKE, MODET & CO. PERÚ S.A.C.

DIRECCIÓN : Av. Conquistadores N° 1136, Ofc. 304, SAN ISIDRO - LIMA - LIMA

Se le comunica que a la solicitud de Patente de Invención presentada el día 18 de diciembre de 2017, cuya copia se adjunta, se le ha asignado el N° de Expediente 002761-2017/DIN

ROCIO FLORES MONTERO
Especialista 1
Dirección de Invenciones y Nuevas Tecnologías
INDECOPI

M-DIN-01/01

Indecopi

SOLICITUD DE REGISTRO DE PATENTE

Indecopi

2017 DIC 18 PM 4:11

002761 -2017/DIN

RECIBIDO

MESA DE PARTES

INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA DE LA COMPETENCIA Y DE LA PROTECCION DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL

DIRECCION DE INVENCIONES Y NUEVAS TECNOLOGIAS

(22)

A la Dirección de Invenciones y Nuevas Tecnologías se solicita el registro de la concesión, conforme a las siguientes especificaciones, de:

(12) **Patente de Invención** ☒ **Modelo de Utilidad** ☐

(71) **Solicitante (s), domicilio (s), y país (es)**
UNIVERSIDAD DE PIURA
AV. RAMON MUGICA NRO. 131 URB. SAN EDUARDO (SECTOR EL CHIPE) PIURA - PIURA – PIURA, PERÚ

Teléfono (s) **Telefacsímil (es)**

(72) **Inventor (es), domicilio (s) y nacionalidad (es)**
VER LISTA ADJUNTA (al reverso de la solicitud)

(73) **Representante / Apoderado y domicilio**
CLARKE, MODET & CO. PERU S.A.C.
Av. Conquistadores N° 1136, Of. 304 - San Isidro, Lima 27, Perú
RUC N° 20256396000

N° Agente **Poder N°** **Anexo a:**

Teléfono (s) 4612073 **Telefacsímil (es)** 460 5458

(54) **Título de la invención**
UN METODO PARA LA DESCOLMATACION DE RESERVORIOS UTILIZANDO CAUCES ARTIFICIALES

Clasificación internacional sugerida (CIP[5])

(30) **Reivindica prioridad** **Si** ☐ **No** ☒

(31) **Número (s)** (32) **Fecha (s)** (33) **País (es)**

RECAUDOS ANEXOS:
- ☒ Descripción: 17 hojas (3 ejemplares)
- ☒ Reivindicaciones: 5 hojas (3 ejemplares)
- ☒ Resumen: 1 hoja (3 ejemplares)
- ☐ Dibujos o Planos: - numerados de N° ____ a N° ____ (___ ejemplares)
  - se sugiere dibujo N° ___ para la publicación
- ☐ Poder o documento de personería
- ☐ Documento(s) de prioridad
- ☐ Certificado de exhibición
- ☒ Comprobante de pago de tasa: Solicitud, 2 reivindicaciones adicionales y 1era. Anualidad
- ☐ Informe(s) de búsqueda o de patentabilidad extranjero(s)
- ☐ Reducciones del plano o dibujo principal
- ☐ Documento de cesión y/o Declaración Jurada de Relación Laboral
- ☐ Otros, especificar: Vigencia de Poder

Fecha: Lima, 18 de diciembre de 2017

Firma

Nombre del firmante
Ana Teresa María Barreto Guinea
Representante Legal
CLARKE, MODET & CO. PERU S.A.C.

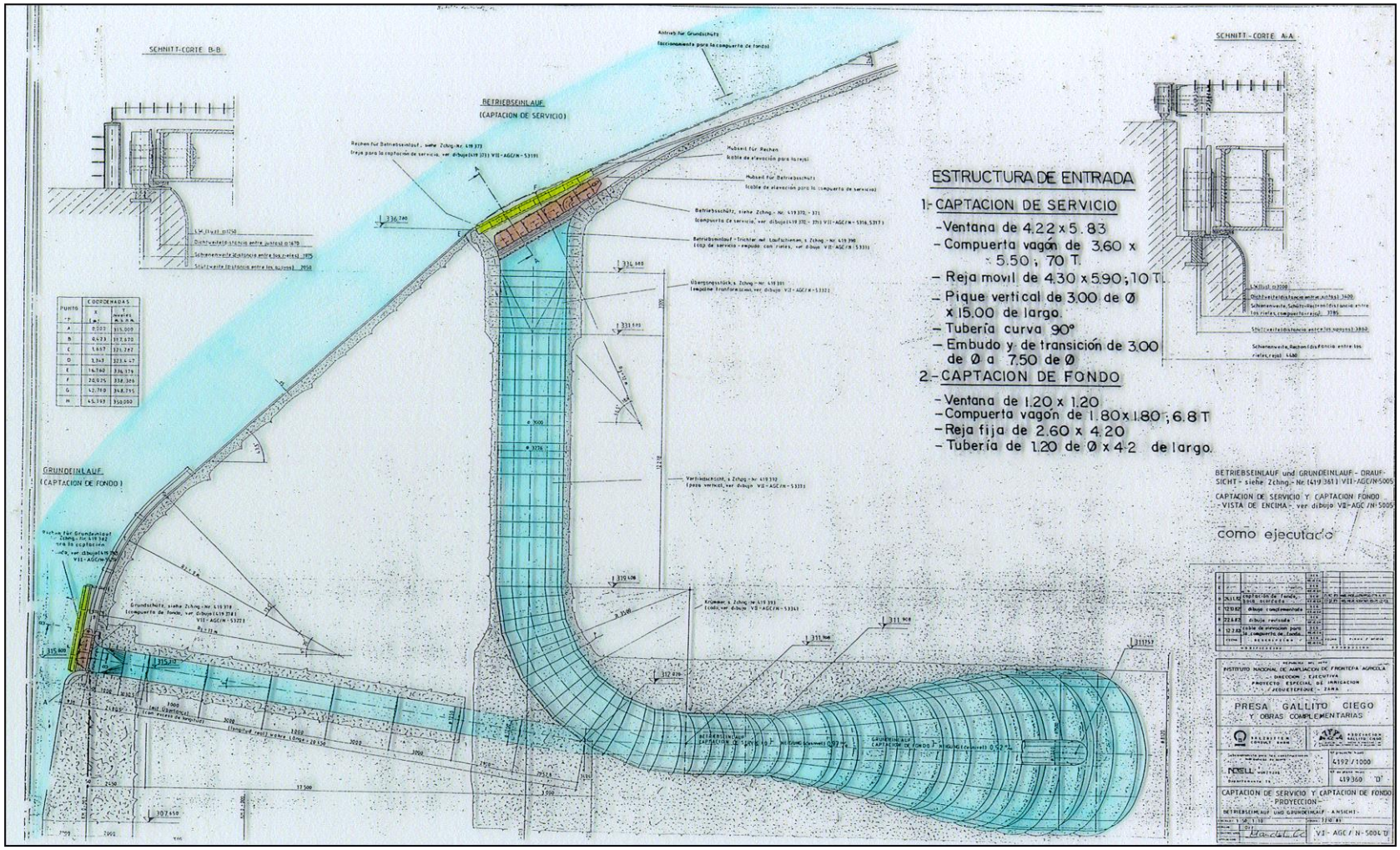
RF/P 2017/28042 PE

LISTA DE INVENTORES

Nombre	Dirección	Nacionalidad
JORGE DEMETRIO REYES SALAZAR	URB. LOS COCOS DEL CHIPE MZ. J LOTE 13B1, PIURA-PIURA-PIURA, PERÚ	Peruano
CLARA MARINA FARIAS ZEGADA DE REYES	URB. LOS COCOS DEL CHIPE MZ. J LOTE 13B1, PIURA-PIURA-PIURA, PERÚ	Peruana
KIARA AIMEÉ TESÉN ARÁMBULO	AV. SULLANA NORTE 233, PIURA-PIURA-PIURA, PERÚ	Peruana

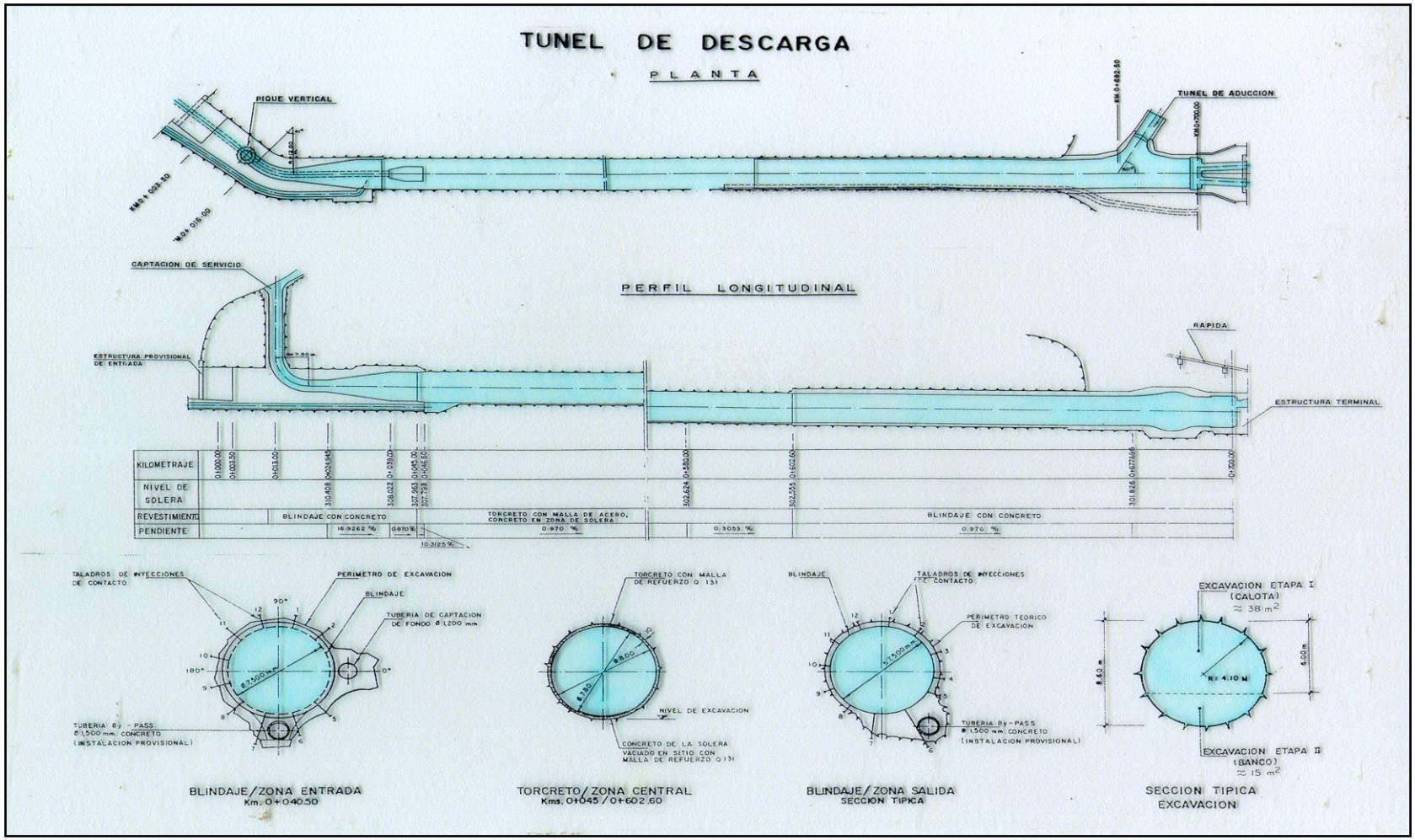
Anexo B. Estructuras del embalse Gallito Ciego

Anexo B-1. Estructura de entrada



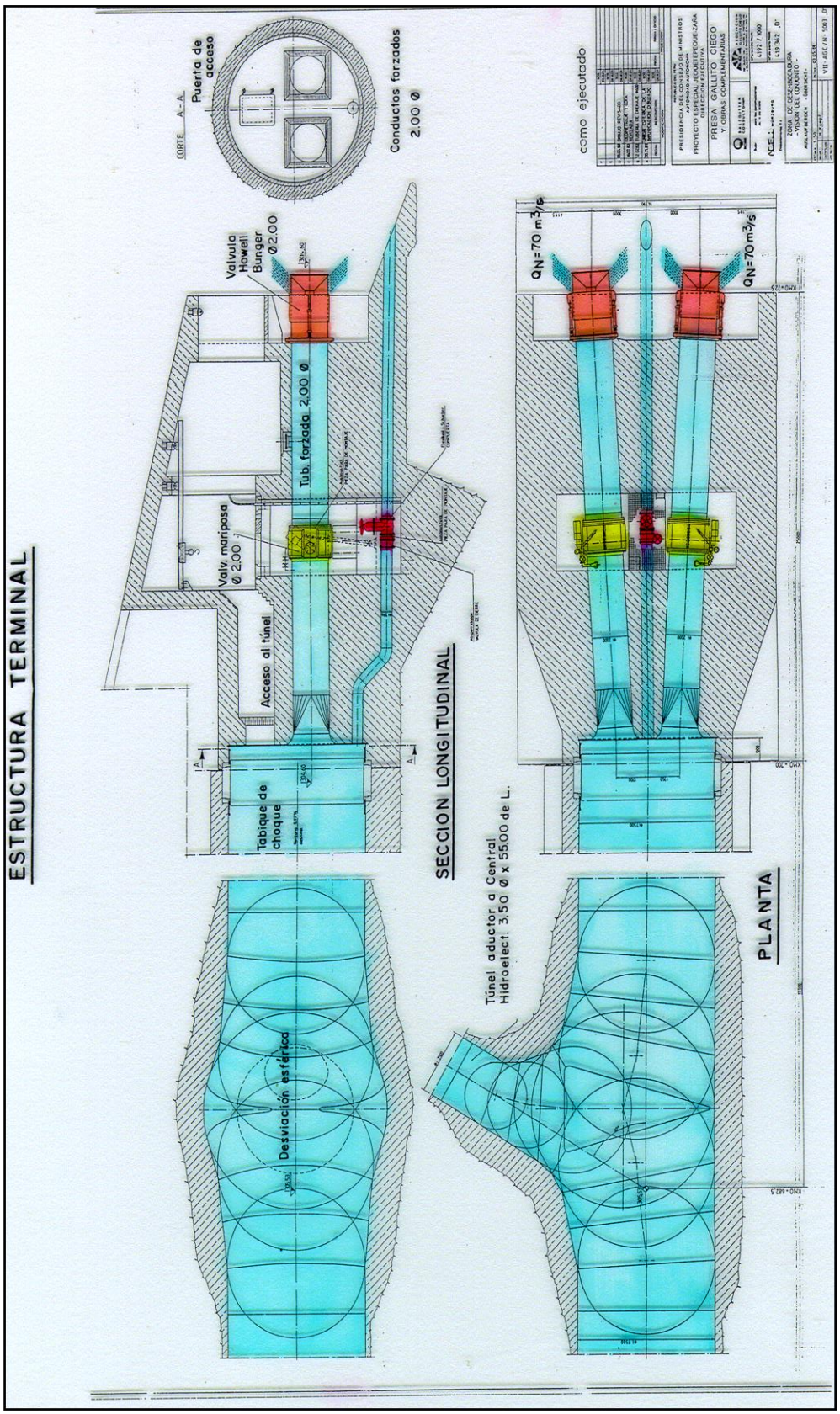
Fuente: PEJEZA, 2016c

Anexo B-2. Estructura de conducción.



Fuente: PEJEZA, 2016c

Anexo B-3. Estructura de salida.



Fuente: PEJEZA., 2016c

Anexo C. Caudal promedio mensual (m3/s) en el embalse Gallito Ciego. Estación hidrológica Yonán.

AÑO	M E S E S												MAX	PROM	MIN
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL	ANUAL	ANUAL
1942/43	2.70	3.30	2.40	5.90	77.10	98.00	100.60	36.10	13.90	6.40	3.60	2.60	100.60	29.38	2.40
1943/44	8.50	7.70	16.00	11.20	78.50	59.30	40.10	18.10	6.90	4.80	3.50	3.00	78.50	21.47	3.00
1944/45	3.50	1.40	5.90	19.10	82.00	103.00	63.50	17.90	5.90	4.50	3.50	2.70	103.00	26.08	1.40
1945/46	2.70	8.40	12.40	49.00	65.10	62.30	42.90	18.70	9.10	4.60	2.60	1.50	65.10	23.28	1.50
1946/47	5.20	9.40	7.90	9.40	30.40	29.70	52.90	42.90	12.40	7.00	4.80	6.30	52.90	18.19	4.80
1947/48	19.40	30.20	30.10	82.40	41.90	53.20	56.50	22.10	12.40	6.30	3.90	3.50	82.40	30.16	3.50
1948/49	21.80	26.20	7.00	4.40	56.10	157.40	130.20	24.70	11.50	7.80	4.60	3.10	157.40	37.90	3.10
1949/50	4.30	7.00	1.40	1.90	21.50	50.10	51.60	18.10	7.20	5.20	2.90	2.00	51.60	14.43	1.40
1950/51	3.00	6.20	16.60	13.20	31.00	32.40	27.00	12.10	5.30	3.20	1.80	1.60	32.40	12.78	1.60
1951/52	2.60	14.00	20.90	46.20	37.90	90.70	99.20	23.50	10.90	5.80	3.90	2.80	99.20	29.87	2.60
1952/53	2.30	1.00	9.00	51.30	220.10	236.20	200.40	32.60	15.10	7.60	4.60	5.10	236.20	65.44	1.00
1953/54	9.20	23.40	28.60	33.70	38.50	74.80	26.10	21.50	7.10	4.40	2.90	2.10	74.80	22.69	2.10
1954/55	11.40	22.20	4.90	28.60	67.90	73.10	43.00	25.10	14.70	6.30	4.20	4.60	73.10	25.50	4.20
1955/56	3.40	3.40	8.80	16.80	68.60	73.30	78.00	21.00	6.70	6.00	3.80	3.00	78.00	24.40	3.00
1956/57	16.30	8.10	2.80	9.50	37.40	131.50	118.40	47.00	21.90	7.90	5.40	5.30	131.50	34.29	2.80
1957/58	4.00	10.80	11.40	38.10	30.60	81.20	52.20	32.90	14.60	6.20	4.50	2.90	81.20	24.12	2.90
1958/59	5.10	1.90	1.90	2.40	23.50	93.10	73.40	45.10	13.30	6.30	3.90	2.60	93.10	22.71	1.90
1959/60	4.90	9.10	23.50	20.00	50.70	42.50	58.90	28.10	9.70	4.90	3.20	3.10	58.90	21.55	3.10
1960/61	3.10	5.40	8.00	31.40	36.70	55.40	47.60	23.90	10.30	3.80	1.80	1.60	55.40	19.08	1.60
1961/62	1.10	1.50	6.30	34.30	71.10	103.00	87.50	27.60	10.90	4.30	2.90	2.10	103.00	29.38	1.10
1962/63	1.60	2.10	0.80	1.30	5.10	79.20	70.00	18.90	6.20	3.20	2.90	1.30	79.20	16.05	0.80
1963/64	2.20	7.70	6.30	33.80	41.10	50.00	76.30	27.10	8.70	4.80	4.40	3.50	76.30	22.16	2.20
1964/65	7.20	21.90	5.90	6.40	11.40	121.90	91.70	30.90	9.40	5.10	2.80	3.50	121.90	26.51	2.80

Fuente: PEJEZA, 2017

AÑO	M E S E S												MAX	PROM	MIN
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL	ANUAL	ANUAL
1965/66	12.80	23.40	9.00	47.10	23.40	28.10	22.60	17.90	6.50	3.10	1.90	1.40	47.10	16.43	1.40
1966/67	10.10	9.30	3.80	34.10	125.70	111.30	36.40	18.30	9.10	5.60	3.20	2.10	125.70	30.75	2.10
1967/68	7.10	4.70	2.50	3.00	7.40	24.10	11.30	4.70	2.70	1.50	0.80	1.70	24.10	5.96	0.80
1968/69	11.30	6.90	4.00	9.10	26.90	48.50	30.60	12.70	7.50	2.40	1.30	0.80	48.50	13.50	0.80
1969/70	2.20	9.80	33.20	40.70	20.50	39.30	33.20	37.90	11.30	4.40	2.40	2.90	40.70	19.82	2.20
1970/71	10.20	20.50	29.80	18.40	30.90	148.10	133.90	29.70	13.60	7.50	5.90	5.00	148.10	37.79	5.00
1971/72	15.60	15.60	19.70	28.90	28.40	52.85	77.30	27.30	13.10	6.20	4.50	3.70	77.30	24.43	3.70
1972/73	3.60	4.30	12.70	47.20	36.10	86.10	166.80	49.40	18.30	10.70	7.10	13.50	166.80	37.98	3.60
1973/74	23.30	29.90	26.50	44.50	83.80	75.10	29.40	14.40	9.10	4.90	2.90	2.90	83.80	28.89	2.90
1974/75	12.70	7.80	9.60	20.20	59.50	129.30	102.90	33.80	17.30	9.10	5.00	6.60	129.30	34.48	5.00
1975/76	23.30	17.60	7.20	29.60	61.90	85.70	49.80	24.40	13.30	4.40	2.80	1.80	85.70	26.82	1.80
1976/77	1.40	1.80	2.30	29.70	121.40	73.60	59.20	23.00	11.50	4.90	2.20	2.30	121.40	27.78	1.40
1977/78	2.90	6.10	12.50	5.90	8.30	10.40	20.30	21.40	7.20	2.80	1.40	1.30	21.40	8.38	1.30
1978/79	1.10	3.60	6.10	11.30	26.40	28.00	29.60	13.20	6.20	2.50	1.50	3.10	29.60	11.05	1.10
1979/80	1.30	0.70	0.50	1.00	3.80	8.60	12.00	3.30	2.10	0.40	0.10	0.10	12.00	2.83	0.10
1980/81	5.60	15.50	32.10	10.60	103.50	97.40	26.20	11.60	7.20	3.50	1.40	1.40	103.50	26.33	1.40
1981/82	6.60	15.70	20.70	12.80	29.70	20.40	33.20	16.90	7.90	3.30	1.30	1.40	33.20	14.16	1.30
1982/83	13.40	17.20	53.90	85.40	49.70	174.20	152.50	81.40	27.60	12.50	5.80	6.10	174.20	56.64	5.80
1983/84	8.10	6.70	27.50	15.80	188.30	173.00	67.80	65.40	23.40	13.10	5.10	4.40	188.30	49.88	4.40
1984/85	18.10	8.80	19.00	11.00	18.00	23.70	15.00	8.70	4.80	2.40	1.30	1.60	23.70	11.03	1.30
1985/86	2.50	1.30	8.60	22.90	25.30	20.40	68.70	21.10	6.70	2.80	1.20	1.10	68.70	15.22	1.10
1986/87	1.40	7.10	8.70	53.30	61.10	29.70	19.90	18.80	4.70	2.20	2.10	1.70	61.10	17.56	1.40
1987/88	4.30	7.30	8.80	28.20	28.65	29.10	39.10	18.40	8.00	2.40	0.70	0.70	39.10	14.64	0.70
1988/89	20.95	13.50	4.14	5.97	18.35	15.53	14.35	10.45	5.29	2.20	0.37	1.12	20.95	9.35	0.37
1989/90	20.95	13.50	4.14	5.97	18.35	15.53	14.35	10.45	5.29	2.20	0.37	1.12	20.95	9.35	0.37

Fuente PEJEZA, 2017

AÑO	M E S E S												MAX ANUAL	PROM ANUAL	MIN ANUAL
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP			
1990/91	8.29	16.40	18.03	5.68	9.71	50.52	28.36	19.38	4.98	1.72	0.41	0.35	50.52	13.65	0.35
1991/92	1.08	2.20	5.04	14.64	7.44	20.53	42.32	16.91	7.64	1.64	0.41	1.16	42.32	10.08	0.41
1992/93	5.30	6.40	3.88	3.85	50.39	166.52	113.00	33.71	11.88	4.82	2.02	2.66	166.52	33.70	2.02
1993/94	16.69	35.49	28.11	69.89	83.91	119.77	115.93	35.80	16.32	15.57	2.39	2.31	119.77	45.18	2.31
1994/95	3.73	6.60	11.01	9.11	47.41	43.72	41.47	14.41	5.83	3.25	1.49	1.31	47.41	15.78	1.31
1995/96	2.50	13.54	18.26	39.13	73.62	116.49	66.51	19.00	8.91	3.47	1.38	1.74	116.49	30.38	1.38
1996/97	6.35	5.94	2.69	3.43	27.24	19.30	15.47	11.28	4.24	1.46	0.37	0.46	27.24	8.19	0.37
1997/98	2.69	16.44	72.66	115.33	230.24	321.46	173.61	63.36	21.64	10.23	5.75	4.36	321.46	86.48	2.69
1998/99	7.39	12.54	4.93	15.34	164.81	110.07	63.46	49.77	23.34	14.56	4.14	10.96	164.81	40.11	4.14
1999/20	16.47	9.57	31.96	13.25	75.64	163.46	87.35	65.08	24.54	9.67	4.26	4.75	163.46	42.16	4.26
2000/01	4.41	2.04	20.39	88.93	82.71	105.61	128.51	40.47	21.84	10.04	5.00	7.29	128.51	43.10	2.04
2001/02	5.53	21.14	23.97	16.76	40.63	154.27	130.02	29.46	13.81	5.49	2.73	2.47	154.27	37.19	2.47
2002/03	8.70	26.89	52.34	32.97	49.52	50.81	47.99	22.07	10.84	3.99	1.38	1.20	52.34	25.73	1.20
2003/04	1.79	6.10	8.40	7.21	29.18	33.75	31.83	11.72	4.59	1.83	0.52	1.08	33.75	11.50	0.52
2004/05	5.26	21.45	34.42	27.22	21.74	34.73	47.72	14.75	4.63	2.02	0.75	0.73	47.72	17.95	0.73
2005/06	2.13	7.48	28.23	14.49	67.38	90.61	113.85	19.94	11.42	4.44	2.84	3.01	113.85	30.48	2.13
2006/07	2.13	7.48	28.24	37.69	31.14	98.55	90.37	26.79	8.56	3.92	2.44	1.90	98.55	28.27	1.90
2007/08	5.11	19.94	8.89	48.73	123.47	134.05	118.46	41.07	16.72	6.72	4.74	5.24	134.05	44.43	4.74
2008/09	14.54	25.87	11.39	56.13	133.42	163.98	92.97	37.70	16.50	8.81	4.79	3.23	163.98	47.44	3.23
2009/10	6.16	18.48	48.98	21.33	54.60	65.09	80.87	36.35	10.53	6.41	2.68	2.51	80.87	29.50	2.51
2010/11	3.13	6.28	8.12	21.47	41.41	33.56	28.39	23.21	7.08	7.08	2.50	2.48	41.41	15.39	2.48
2011/12	3.48	6.10	21.08	70.62	137.16	90.58	76.63	41.42	15.49	6.89	3.95	2.84	137.16	39.69	2.84
2012/13	7.72	25.10	13.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.07	6.04	2.65	1.63	25.10	6.25	0.00
2013/14	6.51	5.57	15.01	17.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.58	3.72	0.00
2014/15	3.33	7.43	8.48	29.57	38.00	145.91	91.66	29.92	13.93	4.65	2.54	1.22	145.91	31.39	1.22

Fuente: PEJEZA, 2017

AÑO	M E S E S												MAX ANUAL	PROM ANUAL	MIN ANUAL
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP			
2015/16	1.68	8.95	10.01	7.68	45.11	71.78	49.96	13.20	5.61	2.12	0.88	0.82	71.78	18.15	0.82
2016/17	1.31	0.41	3.69	23.17	68.89	313.56	151.26	52.21	17.79	7.26	5.04	4.36	313.56	54.08	0.41

Fuente: PEJEZA, 2017

Anexo D. Caracterización de años hidrológicos periodo 1943-2017.

Año	Masa anual	Tipo de año
1943/44	854.79	normal húmedo
1944/45	810.47	normal seco
1945/46	725.86	normal seco
1946/47	569.82	normal seco
1947/48	949.59	normal húmedo
1948/49	1188.82	normal húmedo
1949/50	452.47	muy seco
1950/51	399.37	muy seco
1951/52	939.15	normal húmedo
1952/53	2027.15	Extraordinario
1953/54	714.28	normal seco
1954/55	794.69	normal seco
1955/56	899.74	normal húmedo
1956/57	1079.19	normal húmedo
1957/58	760.24	normal seco
1958/59	715.89	normal seco
1959/60	672.51	normal seco
1960/61	598.23	normal seco
1961/62	917.16	normal húmedo
1962/63	507.66	muy seco
1963/64	693.22	normal seco
1964/65	838.11	normal seco
1965/66	517.46	muy seco
1966/67	950.83	normal húmedo
1967/68	187.82	muy seco
1968/69	540.13	muy seco
1969/70	626.67	normal seco
1970/71	1191.7	normal húmedo
1971/72	993.72	normal húmedo
1972/73	1193.93	normal húmedo
1973/74	900.72	normal húmedo
1974/75	1081.27	normal húmedo
1975/76	838.74	normal seco
1976/77	854.78	normal húmedo
1977/78	264.01	muy seco
1978/79	601.5	normal seco
1979/80	88.53	normal húmedo

Fuente: PEJEZA,2017

Año	Masa anual	Tipo de año
1980/81	815.2	normal seco
1981/82	442.33	muy seco
1982/83	1790.05	Extraordinario
1983/84	1545.64	muy húmedo
1984/85	347.35	muy seco
1985/86	475.8	muy seco
1986/87	545.62	muy seco
1987/88	517.91	muy seco
1988/89	292.9	muy seco
1989/90	292.9	muy seco
1990/91	431.9	muy seco
1991/92	317.6	muy seco
1992/93	1058.6	normal húmedo
1993/94	1415.8	muy húmedo
1994/95	490.1	muy seco
1995/96	949.5	normal húmedo
1996/97	253.8	muy seco
1997/98	2701.2	Extraordinario
1998/99	1236.9	muy húmedo
1999/20	1324.7	muy húmedo
2000/01	1703.8	Extraordinario
2001/02	1170.3	normal húmedo
2002/03	806.5	normal seco
2003/04	358.3	muy seco
2004/05	737.6	normal seco
2005/06	1287.4	muy húmedo
2006/07	891.15	normal húmedo
2007/08	1382.11	muy húmedo
2008/09	1478.33	muy húmedo
2009/10	924.25	normal húmedo
2010/11	661.35	normal seco
2011/12	1231.24	muy húmedo
2012/13	994.12	normal húmedo
2013/14	639.61	normal seco
2014/15	989.05	normal húmedo
2015/16	566.02	normal seco
2016/17	1705.32	Extraordinario

Fuente: PEJEZA, 2017

Apéndices

Apéndice A. Masas mensuales (MMC) de ingreso al embalse Gallito Ciego

AÑO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
1987/88	11.52	18.92	23.57	75.53	69.31	77.94	101.35	49.28	20.74	6.43	1.87	1.81
1988/89	56.10	35.00	11.10	16.00	44.40	41.60	37.20	28.00	13.70	5.90	1.00	2.90
1989/90	56.10	35.00	11.10	16.00	44.40	41.60	37.20	28.00	13.70	5.90	1.00	2.90
1990/91	22.20	42.50	48.30	15.20	23.50	135.30	73.50	51.90	12.90	4.60	1.10	0.90
1991/92	2.90	5.70	13.50	39.20	18.00	55.00	109.70	45.30	19.80	4.40	1.10	3.00
1992/93	14.20	16.60	10.40	10.30	121.90	446.00	292.90	90.30	30.80	12.90	5.40	6.90
1993/94	44.70	92.00	75.30	187.20	203.00	320.80	300.50	95.90	42.30	41.70	6.40	6.00
1994/95	10.00	17.10	29.50	24.40	114.70	117.10	107.50	38.60	15.10	8.70	4.00	3.40
1995/96	6.70	35.10	48.90	104.80	178.10	312.00	172.40	50.90	23.10	9.30	3.70	4.50
1996/97	17.00	15.40	7.20	9.20	65.90	51.70	40.10	30.20	11.00	3.90	1.00	1.20
1997/98	7.20	42.60	194.60	308.90	557.00	861.00	450.00	169.70	56.10	27.40	15.40	11.30
1998/99	19.80	32.50	13.20	41.10	398.70	294.80	164.50	133.30	60.50	39.00	11.10	28.40
1999/20	44.10	24.80	85.60	35.50	183.00	437.80	226.40	174.30	63.60	25.90	11.40	12.30
2000/01	11.80	5.30	54.60	238.20	200.10	282.87	333.10	108.40	56.60	26.90	13.40	18.90
2001/02	14.80	54.80	64.20	44.90	98.30	413.20	337.00	78.90	35.80	14.70	7.30	6.40
2002/03	23.30	69.70	140.20	88.30	119.80	136.10	124.40	59.10	28.10	10.70	3.70	3.10
2003/04	4.80	15.80	22.50	19.30	70.60	90.40	82.50	31.40	11.90	4.90	1.40	2.80
2004/05	14.10	55.60	92.20	72.90	52.60	93.03	123.70	39.50	12.00	5.40	2.00	1.90
2005/06	5.70	19.40	75.60	38.80	163.00	242.70	295.10	53.40	29.60	11.90	7.60	7.80
2006/07	5.71	19.40	75.64	100.96	75.34	263.96	234.23	71.75	22.20	10.50	6.54	4.92
2007/08	13.70	51.68	23.82	130.51	298.69	359.03	307.05	110.00	43.33	18.01	12.70	13.59
2008/09	38.94	67.05	30.52	150.33	322.78	439.20	240.97	100.97	42.77	23.59	12.84	8.37
2009/10	16.51	47.89	131.18	57.13	132.09	174.33	209.62	97.37	27.29	17.16	7.17	6.51

Elaboración: Propia

AÑO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
2010/11	8.37	16.29	21.74	57.51	100.19	89.89	73.58	62.17	18.35	18.96	6.70	6.43
2011/12	9.32	15.81	56.45	189.14	331.81	242.61	198.62	110.94	40.15	18.45	10.58	7.36
2012/13	20.68	65.06	36.83	57.73	96.33	146.08	179.52	87.97	46.84	16.18	7.10	4.22
2013/14	17.44	14.44	40.20	47.08	46.36	67.29	80.57	96.60	21.28	9.54	4.42	4.91
2014/15	8.92	19.25	22.70	79.19	91.94	390.81	237.58	80.13	36.10	12.46	6.82	3.15
2015/16	4.50	23.20	26.80	20.58	109.13	192.25	129.49	35.34	14.54	5.68	2.36	2.13
2016/17	3.50	1.06	9.89	62.07	166.66	839.84	392.07	139.84	46.12	19.46	13.49	11.31

Elaboración: Propia

Apéndice B. Volumen de recuperación en el embalse

AÑO	Mes más abundante	Masa hídrica del mes más abundante (MMC)	1 mes de recuperación	Masa hídrica del 1 mes de recuperación (MMC)	2mes de recuperación	Masa hídrica del 2 mes de recuperación (MMC)	Volumen total de recuperación
1987/88	ABR	101.35	MAY	49.28	JUN	20.74	70.02
1988/89	OCT	56.10	NOV	35.00	DIC	11.10	46.10
1989/90	OCT	56.10	NOV	35.00	DIC	11.10	46.10
1990/91	MAR	135.30	ABR	73.50	MAY	51.90	125.40
1991/92	ABR	109.70	MAY	45.30	JUN	19.80	65.10
1992/93	MAR	446.00	ABR	292.90	MAY	90.30	383.20
1993/94	MAR	320.80	ABR	300.50	MAY	95.90	396.40
1994/95	MAR	117.10	ABR	107.50	MAY	38.60	146.10
1995/96	MAR	312.00	ABR	172.40	MAY	50.90	223.30
1996/97	FEB	65.90	MAR	51.70	ABR	40.10	91.80
1997/98	MAR	861.00	ABR	450.00	MAY	169.70	619.70
1998/99	FEB	398.70	MAR	294.80	ABR	164.50	459.30
1999/20	MAR	437.80	ABR	226.40	MAY	174.30	400.70
2000/01	ABR	333.10	MAY	108.40	JUN	56.60	165.00
2001/02	MAR	413.20	ABR	337.00	MAY	78.90	415.90
2002/03	DIC	140.20	ENE	88.30	FEB	119.80	208.10
2003/04	MAR	90.40	ABR	82.50	MAY	31.40	113.90
2004/05	ABR	123.70	MAY	39.50	JUN	12.00	51.50
2005/06	ABR	295.10	MAY	53.40	JUN	29.60	83.00
2006/07	MAR	263.96	ABR	234.23	MAY	71.75	305.98
2007/08	MAR	359.03	ABR	307.05	MAY	110.00	417.05

Elaboración: Propia

AÑO	Mes más abundante	Masa hídrica del mes más abundante (MMC)	1 mes de recuperación	Masa hídrica del 1 mes de recuperación (MMC)	2mes de recuperación	Masa hídrica del 2 mes de recuperación (MMC)	Volumen total de recuperación
2008/09	MAR	439.20	ABR	240.97	MAY	100.97	341.94
2009/10	ABR	209.62	MAY	97.37	JUN	27.29	124.66
2010/11	FEB	100.19	MAR	89.89	ABR	73.58	163.47
2011/12	FEB	331.81	MAR	242.61	ABR	198.62	441.23
2012/13	ABR	179.52	MAY	87.97	JUN	46.84	134.81
2013/14	MAY	96.60	JUN	21.28	JUL	9.54	30.82
2014/15	MAR	390.81	ABR	237.58	MAY	80.13	317.72
2015/16	MAR	192.25	ABR	129.49	MAY	35.34	164.83
2016/17	MAR	839.84	ABR	392.07	MAY	139.84	531.92

Elaboración: Propia