UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

**Análisis y planteamiento de alternativas a la pérdida de volumen de agua por
colmatación – Embalse Gallito Ciego**

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Api Trelles, Jorge Rolando Terence (0000-0002-2812-5572)

Horna León, David Enrique (000-0003-4421-6463)

ASESOR

Maita Espinoza, Anibal Wilfredo (0000-0002-3965-1113)

Lima, 20 de marzo de 2019

RESUMEN

El presente trabajo tiene por finalidad identificar la alternativa de solución más adecuada a la pérdida de capacidad de volumen útil de agua por la colmatación de sedimentos, dicha alternativa se aplicará al caso del embalse Gallito Ciego (cuenca del río Jequetepeque).

Para ello se recopiló información de diferentes autores sobre los métodos existentes, adicionalmente información sobre el embalse; entre datos estadísticos, geográficos, hidrológicos, procesos constructivos, etc.

Este estudio se llevará a cabo debido a que el embalse en cuestión es uno de los más importantes en el territorio peruano, debido a que su volumen de vida útil inicial fue de 426.80 MMC, en el último estudio batimétrico realizado en el año 2017 el volumen útil actual es de 366.08 MMC, habiéndose perdido un total de 60.72 MMC.

Finalmente, se optará por la mejor alternativa para el caso en estudio.

Palabras clave: Embalse; Colmatación; Jequetepeque; Alternativas

Analysis and approach of alternatives to the water volume loss by clogging – Gallito Ciego Reservoir

ABSTRACT

The finally of this paper work is to identify alternatives of solution to the loss of water volume capacity by clogging of sediments, these alternatives would be applied on the case of the Gallito Ciego reservoir (river Jequetepeque basin). For this purpose we have compiled information from different authors about the existing methods, additionally information about the reservoir; including statistical, geographical, hydrological data, construction processes, etc. This study will be carried out because the reservoir in matter is one of the most important reservoirs in the Peruvian territory, since its initial volume of useful life was 426.80 millions of cubic meters; and now, in the last bathymetric survey made in 2017 the actual volume is 366.08 millions of cubic meters, having a total loss of 60.72 millions of cubic meters. Finally, the group will propose the best alternative for this study case.

Keywords: Reservoir; Clogging; Jequetepeque; Alternatives

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2	FUNDAMENTACIÓN.....	2
1.3	OBJETIVOS	3
1.3.1	Objetivo General.....	3
1.3.2	Objetivos específicos	3
1.4	PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS	3
2	FUNDAMENTO TEÓRICO DE LA COLMATACIÓN DE EMBALSES.....	4
2.1	RELACIÓN ENTRE EROSIÓN – SEDIMENTACIÓN.....	4
2.2	PROCESO DE COLMATACIÓN DE UN EMBALSE	5
2.2.1	Proceso de erosión en una cuenca	5
2.2.1.1	Erosión hídrica	6
2.2.1.2	Factores desencadenantes	10
2.2.2	Sedimentos en una cuenca	13
2.2.2.1	Generación y transporte desedimentos en una cuenca	13
2.2.2.2	Sedimentación en el vaso durante el llenado y operación del embalse ...	14
2.3	CONTROL DE SEDIMENTACIÓN Y SUS CONSECUENCIAS	15
2.4	METODOLOGÍAS DE MEDICIÓN DE LA COLMATACIÓN.....	17
2.4.1	Batimetría	17
2.4.2	Estrategias técnicas para el control de la erosión y sedimentación	18
3	ESTADO DEL ARTE.....	22
3.1	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN A LA PÉRDIDA DE VOLUMEN DE AGUA.....	22
3.1.1	Flushing	22
3.1.1.1	Pressure flushing.....	22
3.1.1.2	Drawdown flushing	22
3.1.1.3	No Flushing	23
3.1.1.4	Environmental friendly Flushing	23
3.1.2	Obras de derivación para embalses.....	24
3.1.2.1	Canal de derivación	24
3.1.3	Recuperación por crecimiento de la presa	26

3.1.3.1	Presas inflables	26
3.1.3.2	Clapetas (compuertas abatibles)	27
3.1.4	Dragado sustentable	28
3.1.5	Reforestación	30
3.1.6	Otras alternativas	30
4	CASO DE ESTUDIO: EMBALSE GALLITO CIEGO	31
4.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES	31
4.1.1	Definiciones de volúmenes	36
4.2	VARIABLES HIDROLÓGICAS Y METEOROLÓGICAS.....	37
4.2.1	Unidades Hidrográficas	37
4.2.2	Temperatura media	39
4.2.3	Régimen de precipitación anual.....	41
4.2.4	Información de caudales	46
4.2.4.1	El caudal del río Jequetepeque	48
4.3	PROCESO DE COLMATACIÓN DEL EMBALSE GALLITO CIEGO	49
4.3.1	Proceso de erosión en la cuenca del río Jequetepeque	49
4.3.2	Efectos de la erosión hídrica de los suelos sobre el embalse Gallito Ciego	51
4.3.2.1	Batimetrías oficiales del embalse Gallito Ciego	52
4.4	PROCESO DE SEDIMENTACIÓN EN EL EMBALSE GALLITO CIEGO	53
4.4.1	Sedimentos retenidos según batimetría oficiales del embalse Gallito Ciego ..	54
4.5	ANÁLISIS Y FUNDAMENTACIÓN DE ALTERNATIVAS A LA PÉRDIDA DE AGUA POR COLMATACIÓN.....	55
4.5.1	Alternativas de solución aplicables al embalse Gallito Ciego	56
4.5.1.1	El Proyecto no se altera	58
4.5.1.2	Canal de derivación	59
4.5.1.3	El dragado como proyecto sustentable	66
4.5.1.4	Reforestación	70
4.5.1.5	Sobreelevación de la cresta del vertedero.....	72
4.5.1.6	Implementación del sistema de clapetas	74
4.6	ELECCIÓN Y FUNDAMENTACIÓN DE LA ALTERNATIVA	79
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
5.1	CONCLUSIONES.....	94

5.2	RECOMENDACIONES	95
6	BIBLIOGRAFÍA	96
7	ANEXOS.....	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características principales embalse Gallito Ciego.	35
Tabla 2. Características principales central hidroeléctrica Gallito Ciego.	36
Tabla 3. Unidades hidrográficas Cuenca del río Jequetepeque.	39
Tabla 4. Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Jequetepeque.	39
Tabla 5. Comportamiento de la temperatura a nivel regional (Cajamarca).	40
Tabla 6. Régimen de precipitación anual (Cajamarca).	42
Tabla 7. Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Jequetepeque.	46
Tabla 8. Evaluación topográfica – batimétrica del Embalse Gallito Ciego.	52
Tabla 9. Controles batimétricos oficiales – sedimentos (1991-2017).	54
Tabla 10. Régimen de colmatación real.	58
Tabla 11. Demanda bruta de agua por clase y tipos.	60
Tabla 12. Caudal medio mensual del río Jequetepeque 1942 – 2003.	61
Tabla 13. Cálculo del borde libre.	64
Tabla 14. Pros y contras acerca de la construcción de un canal de derivación.	66
Tabla 15. Resultados del análisis de granulometría de sedimentos. Porcentaje de arena, limo y arcilla.	68
Tabla 16. Ingresos por dragado sustentable.	70
Tabla 17. Sumatoria de áreas propuestas para reforestar.	71
Tabla 18. Resumen presupuesto de reforestación.	72
Tabla 19. Comparativo económico de alternativas.	79
Tabla 20. Caudal medio mensual del río Jequetepeque 1942 – 2016.	80
Tabla 21. Masa mensual del río Jequetepeque 1942 – 2016.	81
Tabla 22. Recuperación de volumen útil acumulado en periodos de máximas avenidas. ...	86
Tabla 23. Evaluación de masas anuales de descarga total de sólidos.	87
Tabla 24. Retención de sólidos para marzo, abril, y mayo (meses con clapetas erigidas). .	90
Tabla 25. Simulación pronosticada del proceso de colmatación del embalse 1987 – 2037.	91
Tabla 26. Estimación pronosticada de colmatación con uso de clapetas.	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del embalse Gallito Ciego según batimetría 2013.	2
Figura 2. Proceso de sedimentación.	5
Figura 3. Transporte colina abajo de las partículas de suelo por impacto de la lluvia.	7
Figura 4. Perfil típico de una cárcava.	7
Figura 5. Erosión de fertilidad.	8
Figura 6. Erosión por encharcamiento.	8
Figura 7. Erosión en zanjas.	9
Figura 8. Erosión de fertilidad.	9
Figura 9. Erosión de sedimentación.	10
Figura 10. Diagrama de Hjulstrom.	12
Figura 11. Relación de clasificaciones de sedimentos.	13
Figura 12. Levantamiento batimétrico en un embalse.	18
Figura 13. Reducción del porcentaje de erosión en comparación con el porcentaje de cubierta vegetal.	20
Figura 14. Principio de pressure flushing.	22
Figura 15. Perfil longitudinal del embalse usando Drawdown Flushing.	23
Figura 16. Perfil longitudinal del embalse sin aplicar flushing.	23
Figura 17. Canal de derivación en ambas caras de la ribera.	25
Figura 18. Compuerta tipo clapeta.	28
Figura 19. Embalse Gallito Ciego.	31
Figura 20. Embalse Gallito Ciego (potencial hidro-energético).	33
Figura 21. Esquema del embalse Gallito Ciego según batimetría del 2013.	34
Figura 22. Sub-cuencas del río Jequetepeque.	38
Figura 23. Temperatura media mensual – cuenca alta.	41
Figura 24. Temperatura media-mensual – cuenca baja.	41
Figura 25. Precipitación promedio mensual – cuenca alta.	43
Figura 26. Precipitación promedio mensual – cuenca baja.	43
Figura 27. Mapa de estaciones meteorológicas. Cuenca Jequetepeque.	44
Figura 28. Mapa de precipitación media anual. Cuenca Jequetepeque.	45
Figura 29. Estaciones hidrométricas de la cuenca del río Jequetepeque.	47
Figura 30. Hidrograma del río Jequetepeque, mes de febrero.	48
Figura 31. Hidrograma del río Jequetepeque mes de Julio.	49

Figura 32. Simulación pronosticada de la colmatación del embalse.	57
Figura 33. Simulación pronosticada de la colmatación del embalse en años.	57
Figura 34. Proyección del canal de derivación.	59
Figura 35. Volumen de escurrimiento vs retención – anual.	62
Figura 36. Volumen de escurrimiento vs volumen de retención – máximas avenidas.	63
Figura 37. Diseño para una sección trapezoidal de máxima eficiencia hidráulica.	64
Figura 38. Sección transversal canal de derivación.	65
Figura 39. Proyección de áreas a reforestar.	71
Figura 40. Esquema de elevaciones de la presa Gallito Ciego.	74
Figura 41. Escenario sin clapetas de tipo fusible.	75
Figura 42. Escenario con clapetas de tipo fusible.	75
Figura 43. Aportes del río Jequetepeque al embalse Gallito Ciego.	77
Figura 44. Compuertas de Orbinox.	77
Figura 45. Estructuración de clapetas	78
Figura 46. Composición de materiales de clapetas.	78
Figura 47. Curva de duración (Disponibilidad de agua en el río Jequetepeque).	82
Figura 48. Clasificación de los años según la magnitud del aporte hídrico del río Jequetepeque 1942 – 2016.	83
Figura 49. Polígono de frecuencias volumen vs meses (mínimo, máximo y promedio).	84
Figura 50. Polígono de frecuencias volumen vs meses (mínimo, máximo, al 95%).	85
Figura 51. Polígono de frecuencias volumen vs meses al 95% de confianza.	85
Figura 52. Relación volumen de escurrimiento Q1 vs sedimentos Qs (MMC).	88
Figura 53. Relación volumen de escurrimiento Q1 vs sedimentos Qs (MMC) Valores atípicos.	88
Figura 54. Compuertas Orbinox en la presa Caillouas – Francia.	93
Figura 55. Compuertas instaladas en aliviadero.	93

1 INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento de la naturaleza, integrante de los ecosistemas, fundamental para el sostenimiento y la reproducción de la vida, constituye un recurso crucial para la humanidad y para el resto de los seres vivos. Es así que nuestros ríos y lagos, nuestras aguas costeras, marítimas y subterráneas, son recursos valiosos y es preciso protegerlos. Es decir que, el agua es un bien de primera necesidad para los seres vivos y un elemento natural imprescindible en la configuración de los sistemas medioambientales.

El hombre en conjunto con la ciencia ha tenido la necesidad de poder controlar este recurso tanpreciado. La ingeniería ha permitido que a través de represas se logre embalsar agua para cumplir con la demanda y aprovechar al máximo su uso.

La mayor problemática de las represas es la pérdida de volumen útil por la deposición de sedimentos en el fondo del embalse, proceso al que llamaremos colmatación. La ocurrencia de este proceso es natural e inevitable debido a condiciones fluviales, geológicas y pluviales que el hombre no es capaz de controlar, y la presencia de variables hidrológicas y meteorológicas influye directamente a la vida útil del embalse, haciendo imprecisa la estimación del volumen de sedimentos esperados.

Por esta razón, es de suma importancia determinar la alternativa más apropiada que permita la recuperación del volumen útil de agua para el embalse que se tomará como caso en el desarrollo de este estudio. Esta tesis tiene como propósito determinar dicha alternativa para el caso específico del embalse Gallito Ciego, ubicado en el departamento de Cajamarca en Perú.

1.1 Planteamiento del problema

El problema en cuestión se centra en la pérdida de volumen útil de agua ocasionada por la colmatación de sedimentos en el embalse Gallito Ciego, ubicado en la cuenca del río Jequetepeque, localidad de Tembladera, departamento de Cajamarca.

Antes de la construcción del embalse, los sólidos transportados por el río seguían su curso natural hacia la planicie agrícola donde se sedimentaban sin constituir un mayor problema. Sin embargo, con el embalse, los sólidos se han depositado y han generado un proceso de colmatación acelerada, ya que la tasa de sedimentación anual adoptada para el proyecto Gallito Ciego fue de 1.7 MMC/año (Ortiz, 2017), valor que discrepa de la realidad, ya que la tasa obtenida de los datos batimétricos es aproximadamente 2.41 MMC/año;

adicionalmente, un factor importante ha sido la ocurrencia del fenómeno de El Niño. Entonces, la pérdida de volumen es causada por el activo régimen de erosión y transporte de sedimentos a lo largo de la cuenca que terminan por depositar los sólidos en el fondo del embalse.

Gallito Ciego empezó sus operaciones con un volumen útil inicial aproximado de 427 MMC, más adelante, según estudios batimétricos realizados en el año 2010, se determinó que el volumen útil del embalse era de 371.63 MMC, tres años más tarde un nuevo estudio batimétrico indica que este se redujo a 366.60 MMC (Proyecto Especial Jequetepeque-Zaña [PEJEZA], 2015). En el año 2017 se realizó un nuevo estudio batimétrico, cuyo resultado indica que el volumen útil a esa fecha es de 366.08 MMC; sin embargo, los resultados aún no son oficiales, por lo que todos los cálculos a realizar en la presente tesis serán en base a la batimetría del año 2013. A continuación, presentamos la Figura 1 que muestra la situación del embalse al año 2013:

Figura 1. Esquema del embalse Gallito Ciego según batimetría 2013.

Adaptado de “Operación y mantenimiento de la presa Gallito Ciego”, por PEJEZA, 2017.

1.2 Fundamentación

El presente trabajo tiene fundamento como proyecto de investigación debido a múltiples razones:

En primer lugar, Gallito Ciego es el tercer embalse de aguas con mayor capacidad del país, teniendo un volumen útil inicial de 427 MMC que contribuye al desarrollo agrícola y a la generación de energía eléctrica. La construcción de la represa Gallito Ciego culminó en el año 1988, mientras que la central hidroeléctrica inició sus operaciones en 1997. Estudios batimétricos determinaron que el embalse perdió un volumen útil de 34.78 MMC desde su puesta en operaciones en febrero de 1988 hasta el año 2000, posteriormente en un nuevo estudio realizado en el año 2013 se determinó que el volumen útil perdido llegó a 60.62 MMC y el total de sedimentos rodeaba los 104 MMC (PEJEZA, 2015).

Por esta razón, es fundamental recuperar el volumen de agua perdido, ya que el embalse Gallito Ciego suplende la demanda agrícola y poblacional de los valles Jequetepeque y Zaña que cuentan con un total aproximado de 42 mil hectáreas bajo riego continuo y consumo potable de aproximadamente 25 mil habitantes. La sedimentación del embalse reduce su oferta a la demanda agrícola antes mencionada en aproximadamente 15% (Ríos, 2013).

Finalmente, teniendo en cuenta el estudio de Factibilidad Técnica y Económica, Salzgitter del año 1973, el cual determinó que la erosión y transporte de sólidos de la cuenca es elevado, por lo que sugiere que es indispensable realizar un programa integral de obras ingenieriles y acciones tendientes a disminuir su incidencia en la colmatación del embalse y protección de riberas contra la erosión hídrica.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Realizar un análisis y plantear alternativas que permitan recuperar parcialmente y tener control del volumen útil de agua perdido por la colmatación de sedimentos en el embalse Gallito Ciego.

1.3.2 Objetivos específicos

- Investigar sobre alternativas de recuperación de volumen útil.
- Analizar la factibilidad de alternativas que permitan dar solución al problema.
- Determinar la alternativa técnica y económica más indicada para recuperar un porcentaje del volumen útil perdido en el embalse.

1.4 Planteamiento de la hipótesis

Es posible recuperar cierto porcentaje de volumen útil para el embalse de Gallito Ciego al aplicar la alternativa adecuada que propondremos.

2 FUNDAMENTO TEÓRICO DE LA COLMATACIÓN DE EMBALSES

En todo proyecto de obras hidráulicas se debe tener presente el comportamiento del material sólido desprendido que se genera por el sistema fluvial producido a través de la red de cauces que se depositan en las partes bajas de la cuenca. Es por este motivo que es importante establecer los criterios más adecuados para el manejo del recurso hídrico de las cuencas que involucren arrastre de sedimentos a través de los cauces hacia el vaso del embalse.

En el Perú la erosión de los suelos se produce constantemente por las precipitaciones pluviales; dentro de una cuenca hidrográfica ocurren diferentes tipos de erosión, como son: hídrica, eólica y geológica. El curso de agua de los afluentes arrastra los materiales producto de la erosión, de los derrumbes, de los socavamientos y finalmente lo transportan a las partes bajas de los embalses de agua.

Asimismo, las cuencas ubicadas en la Costa norte del país son propensas a uno de los fenómenos naturales que alteran las condiciones climatológicas, generando lluvias, que provocan inundaciones y huaicos, es decir el Fenómeno de El Niño, el cual ocurre esporádicamente y deja como resultado: colmatación de reservorios, pérdidas de viviendas, obras civiles, etc.

Los efectos de la erosión afectan a la cuenca debido a que dificultan la agricultura y originan problemas de infraestructura (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2015).

2.1 Relación entre erosión – sedimentación

Erosión es el desgaste de los suelos y rocas producido por la ocurrencia de diferentes procesos en la superficie terrestre; esto implica movimiento y transporte de material.

La sedimentación es el proceso por el cual los materiales procedentes de la erosión de los suelos son acarreados por una corriente de agua hasta ser depositados en el fondo de grandes masas de agua.

Figura 2. Proceso de sedimentación.

Adaptado de “Evaluación de recursos hídricos en la cuenca del río Jequetepeque”, por ANA, 2015.

Ambos procesos están ligados a la velocidad y a la granulometría del material del cauce, por lo cual hay dos condiciones para su ocurrencia. En primer lugar, si el esfuerzo de corte actuante en el terreno excede el esfuerzo de corte crítico de movimiento de sólidos en el fondo de cauce se generará erosión. Asimismo, si la velocidad excede la velocidad crítica entonces se producirá erosión; de lo contrario las partículas decantarán en el fondo del cauce ocurriendo sedimentación, también ocurrirá esto en ciertas secciones de los afluentes donde la pendiente sea mínima y a medida que va ingresando al vaso del embalse.

De igual forma, hay factores que generan un impacto directo sobre el proceso de sedimentación en los embalses, así como su distribución en el vaso y su eficiencia de retención, entre los cuales están las condiciones hidrológicas en la que se encuentra el embalse y de la cuenca, el clima, la fisiografía, morfología del embalse y del sistema de operación del embalse.

2.2 Proceso de colmatación de un embalse

2.2.1 Proceso de erosión en una cuenca

El proceso erosivo de los suelos en una cuenca hidrográfica ocurre de la siguiente manera. En primer lugar, partimos por definir erosión; según Suárez (1980) la erosión es “el proceso de arrastre del suelo por acción del agua o del viento; o como un proceso de desprendimiento y arrastre acelerado de las partículas de suelo causado por el agua y el viento” (p. 4).

Teniendo en cuenta esto, pondremos énfasis en la erosión hídrica que es un proceso natural y además el principal causante de la pérdida de volumen útil de agua en los embalses. La erosión hídrica puede darse de dos formas, la primera por efecto pluvial y la segunda por efecto de escurrimiento superficial.

La erosión por efecto pluvial se puede definir por la velocidad con la que el agua penetra el suelo, es decir la intensidad; asimismo, si llega una elevada cantidad de agua por la tormenta en un corto periodo de tiempo se producirá un efecto de escorrentía superficial o escurrimiento superficial, de dicho efecto es importante determinar su intensidad mas no el total de volumen de agua que cae producto de las lluvias (Peralta, 2010).

De la misma manera, la erosión por efecto del escurrimiento superficial, en palabras de León (2001) se define como:

El flujo de agua sobre la superficie del terreno, cuya capacidad erosiva viene dada por las condiciones edáficas, topográficas, y de cobertura del mismo. Es producto principalmente, de una insuficiente velocidad de penetración del agua lluvia en el perfil edáfico, así, la llegada al suelo de una elevada cantidad de agua en un período corto de tiempo produce rápidamente escorrentía [...] (p. 10).

Y Morgan (1986) complementa que:

La erosión se incrementará conforme lo hicieran el grado y la longitud de la pendiente, como resultado de los respectivos incrementos en velocidad y volumen de la escorrentía superficial. Además, mientras en una superficie plana el golpeteo de las gotas de lluvia arroja las partículas de suelo al azar en todas las direcciones, en condiciones de pendiente inclinada más suelo es salpicado hacia abajo de ella que hacia arriba incrementándose la proporción conforme lo hace el grado [...] (p. 8).

2.2.1.1 Erosión hídrica

Es un proceso dinámico en el que intervienen muchas variables que originan diferentes impactos que van desde la destrucción o deterioro de infraestructuras hasta impactos sociales negativos como lo es la pobreza debido a la pérdida de fertilidad de los suelos.

Empieza por el desprendimiento de las partículas de suelo a causa del impacto de las gotas lluvia, que luego son transportadas y finalmente depositadas colina abajo, así como se muestra en la siguiente figura:

Figura 3. Transporte colina abajo de las partículas de suelo por impacto de la lluvia.

Adaptado de “Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Jequetepeque”, por ANA, 2015.

En el caso específico de las cuencas y microcuencas del río Jequetepeque, la escorrentía que se genera por las lluvias transportan las partículas removidas que son nuevamente depositadas en sectores llanos o con moderada pendiente. El flujo superficial ocurre con mayor frecuencia durante tormentas de gran intensidad; en las zonas intermedias de las subcuencas se concentra el flujo superficial que ocasiona socavación iniciándose un proceso de erosión en cárcava. A medida que la socavación se hace más profunda, su perfil se hace más pendiente cerca de la sección de aguas arriba (ANA, 2015).

Figura 4. Perfil típico de una cárcava.

Adaptado de “Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Jequetepeque”, por ANA, 2015.

Diferentes tipos de erosión hídrica, entre ellos tenemos, erosión de manto, de fertilidad, de encharcamiento, de zanjas, y de sedimentación, estos últimos ocurren en las cuencas y servirán en el análisis de nuestra investigación.

- Erosión de manto o laminar

Proceso en cual las gotas de lluvia actúan de manera constante sobre la superficie del terreno, removiendo la capa más delegada del suelo que es transportada por la corriente, dejando la superficie del terreno expuesta a nuevos procesos erosivos, de esta manera se lleva a cabo una acción conjunta entre el escurrimiento y el goteo. Este tipo de erosión da origen a otras formas más impresionantes de erosión: surcos y cárcavas. Los efectos de esta erosión pueden apreciarse más fácilmente en las zonas boscosas que carecen de mantillo, donde la pérdida de suelo deja al descubierto las raíces de los árboles (Peralta, 2010).

Figura 5. Erosión de fertilidad.

Adaptado de “Erosión, transporte y sedimentación”, por Ibañez, 2008.

- Erosión por encharcamiento

Se debe a la considerable reducción de la velocidad de infiltración y de la permeabilidad de suelo, saturándolo a medida que las partículas más finas que se encuentran en suspensión llenan los poros y canalículos, provocando como efecto el encharcamiento del agua en terrenos planos, y en el caso de las pendientes sucede un escurrimiento del agua sobre el suelo.

Figura 6. Erosión por encharcamiento.

Adaptado de “Erosión, transporte y sedimentación”, por Ibañez, 2008.

- Erosión por zanjas

Este tipo de erosión se da cuando el agua de lluvia no se puede infiltrar en el terreno produciéndose un escurrimiento, este tipo de erosión se manifiesta a menudo en la parte inferior de las cuencas donde intervienen tres factores imperantes, hablamos de la velocidad, cantidad y carga de materiales. Por ende, a mayor pendiente, mayor velocidad del escurrimiento, mayor poder erosivo y finalmente mayor cantidad de desprendimiento del suelo (Peralta, 2010).

Figura 7. Erosión en zanjas.

Adaptado de “Erosión, transporte y sedimentación”, por Ibañez, 2008.

- Erosión de fertilidad

Este proceso sucede por el desplazamiento de partículas de suelo cuyo tamaño es menor a 2 mm de diámetro. Generalmente son arcilla, limo y materia orgánica presentes en el suelo por el accionar de las gotas de lluvia sobre el mismo (Peralta, 2010).

Figura 8. Erosión de fertilidad.

Adaptado de “Erosión, transporte y sedimentación”, por Ibañez, 2008.

- Erosión por sedimentación

Es el material transportado por la lluvia y la escorrentía en conjunto para ser depositado en la parte más baja de las cuencas, depositándose primero los agregados más gruesos, para luego depositar los más finos en forma repetitiva hasta colmatar la parte baja y erosionar la parte alta (Peralta, 2010).

Figura 9. Erosión de sedimentación.

Adaptado de “Erosión, transporte y sedimentación”, por Ibañez, 2008.

2.2.1.2 Factores desencadenantes

Teniendo en cuenta estas condiciones por la cuales se producen la erosión y los tipos de erosión que se generan en los suelos pasamos a destacar cuales son los factores desencadenantes; entre ellos: el clima, la vegetación, el tipo de suelo, la topografía del terreno, la velocidad del flujo y el uso que se le da a la tierra, ya sea en condiciones normales o de uso agrícola (Balocchi & Brea, 2010).

- El clima

Por lo expuso anteriormente, podemos apreciar que el clima es un factor desencadenante en el proceso de erosión, siendo la lluvia una fuerte influencia en el desprendimiento del suelo. Sin embargo, cabe destacar que las tormentas pueden ser variables de acuerdo con la intensidad con la que se dan en un periodo de tiempo (mm/hr) y con la cantidad de agua caída (mm). Así, en el caso que la tormenta tenga una mayor intensidad en un corto periodo de tiempo, se genera escurrimiento superficial dando pase a un alto proceso

erosivo. Por otro lado, si la tormenta no tiene mucha intensidad el proceso erosivo es más leve y se generará erosión laminar (Balocchi & Brea, 2010).

También se puede considerar que un factor influyente en el proceso de erosión es la temperatura, según Slack et al. (1996, como se citó en Balocchi y Brea):

La temperatura de las gotas de agua producidas por la tormenta también influye en las tasas esperadas de erosión y sedimentación. Una tormenta cuyas gotas se encuentran a temperaturas bajas, infiltrarán el suelo a tasas muchos menores, produciéndose escurrimiento superficial con más facilidad [...] (p. 10).

Por lo que podemos considerar que el desprendimiento de suelo por acción de las lluvias en las estaciones de invierno (y en épocas del fenómeno de El Niño) será mayor.

- La vegetación

Ésta actúa como una capa protectora entre el terreno y la atmosfera, brindando mayor rugosidad al terreno y reduciendo la velocidad de escurrimiento, por consiguiente, mitiga el poder erosivo. Asimismo, la altura de vegetación y la profundidad del flujo superficial son factores que afectan directamente al caudal, mientras más densa y homogénea sea la cubierta vegetal del terreno se mitigará mejor la erosión laminar. Estos factores son expresados por el coeficiente de Manning, el cual es un conjunto de la rugosidad, la micro topografía y la cobertura vegetal.

Por otro lado, las hojas de la copa de los árboles son capas que interceptan las gotas de lluvia disipando considerablemente la energía cinética de las mismas, por lo tanto, el posterior impacto que llegará al suelo será menor y la tasa de erosión disminuirá.

- Orografía

Son las condiciones naturales de terreno que favorecen o desfavorecen al transporte de los sedimentos por medio de la erosión de los suelos. Los factores por considerar son la pendiente, la longitud, y las condiciones de terreno que en su conjunto determinan la velocidad y la cantidad de sedimentos transportados.

- Velocidad del flujo

Es un factor que influye directamente en la erosión hídrica y en su posterior transporte y deposición de partículas en la parte baja de las cuencas que se encuentran en función de la pendiente del terreno y del diámetro de las partículas.

Asimismo, Hjulstrom (1935, como se citó en Balocchi y Brea) define que:

[...] la velocidad mínima requerida para el desprendimiento (erosión), transporte y deposición de partículas de suelo, según su diámetro, relación que se ilustra en la Figura 10. Nótese que se necesitan mayores velocidades para el desprendimiento de una partícula dada. Sin embargo, ésta será transportada en forma de suspensión, sólo si la velocidad del caudal es alta o, en su defecto, si la partícula posee un diámetro reducido. De lo contrario, dicha partícula será depositada en un corto lapso (p. 17).

Figura 10. Diagrama de Hjulstrom.

Adaptado de “Procesos de erosión-sedimentación en cauces y cuencas”, por Balocchi y Brea, 2010.

El diagrama indica la velocidad mínima requerida para desprender, transportar o depositar partículas del suelo dependiendo del diámetro para flujos de agua

- El Hombre

La actividad diaria del hombre afecta a la vegetación, la fauna, el suelo, el agua y el clima; por lo antes mencionado, el hombre representa un importante agente geomorfológico; adicionalmente, interfiere en la actuación de los procesos geomorfológicos, muy particularmente en los procesos de erosión, modificándose así la superficie terrestre.

2.2.2 Sedimentos en una cuenca

2.2.2.1 Generación y transporte desedimentos en una cuenca

Se entiende por sedimento a todas las partículas de suelo y roca desprendidas por diferentes factores desencadenantes (clima, vegetación, orografía y velocidad de flujo) de la cuenca alta y media que son acarreadas por la corriente de agua a la cuenca baja, podemos dividir a los sedimentos en dos grandes grupos: de suspensión y de arrastre. El primero es aquel que el agua transporta en suspensión, normalmente el material es de limos, arcillas, arenas finas; y en segundo lugar, los sedimentos de arrastre por partículas sólidas acarreadas sobre el lecho fluvial, pueden ser arenas gruesas hasta bloques de rocas. Sedimentos que son acarreados y depositados en la cuenca baja donde se encuentran grandes masas de agua como lagos, embalses de agua o en su defecto el océano.

Encontramos la diferencia en que el material de arrastre que depende principalmente del comportamiento y características hidráulicas de la corriente de agua que los está transportando, mientras que el material de suspensión está ligado a las características del cauce (anchura, pendiente, caudal, etc.)

De la misma manera, como clasificamos a los sedimentos por suspensión y de fondo podemos clasificarlos según el origen del material, pueden provenir del propio cauce o de la cuenca del río. Esta clasificación se refiere estrictamente a un evento de lluvias o de crecida fluvial.

Adicionalmente, un criterio práctico para separar un origen de otro es por el tamaño de las partículas $D=0.0625$ mm, el material cuyo diámetro es menor a este valor es normalmente del lavado de la cuenca, mientras que el grupo restante proviene del cauce (Rocha, 2006).

Figura 11. Relación de clasificaciones de sedimentos.

Adaptado de “Hidráulica fluvial: Conceptos generales sobre morfología, dinámica y transporte de sedimentos en ríos aluviales”. Recuperado de <http://transportesedimentos.tripod.com/esp/indice.htm> [Consulta: 15 de julio de 2018].

Este esquema deja una clara relación de las dos grandes clasificaciones mencionadas anteriormente, tipos de sedimentos por modo de transporte y por origen de material.

El transporte en suspensión representa aproximadamente el 90% del total de los sedimentos y es el principal causante de la formación de los deltas y en la colmatación de los embalses. Por otro lado, el porcentaje restante representa el transporte de fondo y repercute morfológicamente al río.

Debido al transporte y acumulación de sedimentos es que aparecen los problemas de diseño en los embalses, ya que es necesario poder evacuar el volumen de sedimentos de la manera más confiable y económica recuperando así el volumen útil del embalse. Normalmente, el transporte de sedimentos a las obras hidráulicas produce fallas en la operación de bocatomas y en los mismos embalsamientos (Rocha, 2006), esto ocurre en varios embalses del territorio peruano, incluido está el embalse de Gallito Ciego.

2.2.2.2 Sedimentación en el vaso durante el llenado y operación del embalse

Este proceso ocurre durante el llenado del embalse en operaciones donde los afluentes arrastran las partículas hacia el fondo del vaso del embalse, iniciando aquí el proceso de colmatación que esta racionado con el volumen del embalse y la esorrentía anual de la cuenca. Asimismo, Yang et al. (2006, como se citó en Silva, 2012) nos dice que:

La mayoría de los estudios de sedimentación en reservorios están relacionados con los procesos de azolve, esto es, la cantidad de sedimentos atrapados en el reservorio y su distribución dentro del reservorio. El movimiento de sedimentos dentro del reservorio es también importante debido a la presencia de contaminantes que afectan la calidad del agua del reservorio. Los movimientos de sedimentos en el reservorio están gobernados por las mismas ecuaciones de flujo y de transporte de sedimentos para ríos (p. 10).

Teniendo en cuenta experimentos realizados en partículas que viajan a una velocidad de 0,6 - 9 mm/s usualmente limos y finos cohesivos, materiales predominantes en el fondo de los embalses los cuales dependen del esfuerzo al corte y la velocidad media de flujo, a lo cual se le suma la gravedad específica de la partícula, densidad del agua, profundidad del agua y finalmente la velocidad de caída (Silva, 2012).

Entonces podemos explicar esto como la densidad de flujos que se dan en lagos y embalses. Esto lo explica Yang et al.(2006, como se citó en Silva, 2012):

[...] son flujos de gravedad causados principalmente por diferencias en densidad $\Delta\rho$ de los fluidos involucrados. En un reservorio pueden ocurrir principalmente debido a las diferencias de densidad entre las aguas embalsadas y las que ingresan. Las corrientes de densidad pueden ser causadas por diferencias en temperatura, salinidad, turbidez o una combinación de estos factores. Las corrientes de turbidez son corrientes de densidad causadas principalmente por la presencia de turbidez (ellas transportan material granular), y ocurren como flujos de fondo, esto es, ellos se escurren bajo las capas de menor densidad del embalse. Las corrientes de densidad de turbidez son importantes porque pueden influenciar significativamente la distribución de sedimentos dentro del reservorio. Si alcanzan la presa, pueden ser eliminadas, permitiendo la remoción de sedimentos sin una disminución significativa del nivel del embalse (p. 13).

A medida que el agua ingresa en el reservorio transportando sedimentos, desciende bajo las aguas claras y viaja aguas abajo a lo largo del talweg sumergido. El punto donde las aguas turbias de ingreso descienden bajo el agua ambiental es llamado el punto de descenso súbito o línea de descenso súbito. Su ubicación está determinada por el balance entre el momento de la corriente, el gradiente de presión a lo largo de la interface agua clara-agua turbia, y las fuerzas de corte resistentes. También está influenciada por los factores morfológicos, tales como la pendiente del fondo, la rugosidad del lecho y la forma y área de la sección transversal [...] (p. 15).

2.3 Control de sedimentación y sus consecuencias

El fenómeno de pérdida de volumen útil en los embalses se presenta con distintos grados de intensidad, es además un fenómeno presente en diferentes partes del mundo. Por lo general ocurre a una velocidad mayor que la prevista, este problema se denomina sedimentación acelerada (Rocha, 2006).

Las causas más comunes de esta colmatación acelerada podrían ser las siguientes: la producción de sedimentos en una cantidad mayor que la prevista en estudios anteriores (como proyección de tasa anual de sedimentos del estudio de factibilidad del año 1973), es normal subestimar la producción de sedimentos en la cuenca comparando lo sucedido en otras partes del mundo; el periodo de vida útil determinado para el embalse; asimismo, la colmatación acelerada puede deberse a que la curva altura – volumen del embalse no haya sido determinada con la exactitud topográfica adecuada; por otro lado, es posible que la

granulometría y demás propiedades físicas del material sean diferentes a las consideradas en los estudios así como un error en el cálculo hidro-meteorológico (lluvias y grandes avenidas) previsto; que el peso específico considerado para el material sólido sumergido sea diferente al real; fallas en los sistemas de purga; la aparición del fenómeno de El Niño; entre otras.

La pérdida de volumen útil de un embalse trae consecuencias sociales, económicas, políticas y de otros órdenes, por esta razón la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD) señala cuatro grupos de medidas que pueden tomarse para minimizar la pérdida de volumen útil por sedimentación en embalses. Las cuales son:

- Reducción del aporte de sólidos al embalse:

Disminuir la producción de sedimentos y alargar así la vida útil de un embalse es una tarea costosa, que toma mucho tiempo y que en algunos lugares está vinculada a problemas socioeconómicos. Existe otra forma de disminuir el ingreso de sedimentos de un embalse y consiste en construir aguas arriba una o más presas cuya función sea la de retener sedimentos (check dams). Por ejemplo, podría identificarse el afluente que aporta más sólidos al sistema y, si no es posible controlar la erosión de esa subcuenca, existe la alternativa de construir sobre su lecho una presa de retención de sólidos.

- Disminuir la retención de sólidos en el embalse:

Luego de tratar de actuar sobre la cantidad de sólidos que ingresa al embalse, se puede tratar de disminuir la cantidad que se deposita en el embalse. Lo ideal sería que todos los sólidos que llegan al embalse sigan su curso aguas abajo y, por lo tanto, la deposición y la pérdida de volumen útil disminuirían; pero en los embalses frontales sin purga la realidad es diferente. Generalmente, en el embalse se deposita un gran porcentaje de los sólidos que han ingresado; es decir, hay una alta eficiencia de retención. Existen soluciones que favorecen la formación de corrientes de densidad y operación del embalse de modo que las grandes avenidas pasen de largo. En general, tampoco es fácil disminuir el porcentaje de sólidos que sedimenta.

- Eliminar los sólidos depositados

La tercera posibilidad de control de la pérdida de volumen de un embalse es la eliminación de sólidos depositados. Esto puede realizarse mediante la purga hidráulica

del embalse siempre y cuando sus condiciones lo permitan. En algunos lugares, la purga se ha hecho por dragado, el que eventualmente se ha combinado con sifones.

- Compensar el volumen perdido por sedimentación

Esta compensación puede hacerse de varias maneras. Una de ellas es el aumento de la altura de la presa, que se le conoce con el nombre de recrecimiento de la presa. Esta acción requiere de un detenido estudio que incluya múltiples aspectos, dentro de los cuales está un análisis de las condiciones de sedimentación para el nuevo embalse creado con el recrecimiento y, previamente, la verificación de cuál es el volumen que podría ganarse, que no es necesariamente igual al que había topográficamente a la puesta en servicio de la obra, puesto que puede haber habido depósitos por encima del antiguo nivel de operación normal. De otro lado, hay que tener en cuenta que la sobreelevación de presas exige estudiar y considerar diversos aspectos como los señalados por el ICOLD (Comité Internacional de Grandes Presas):

- a) problemas políticos,
- b) problemas socio económicos (por inundación de tierras),
- c) aumento de pérdidas por filtración y evaporación,
- d) seguridad de la presa, entre otros (Rocha, 2006).

2.4 Metodologías de medición de la colmatación

Antes de poder escoger que alternativa de eliminación de sedimentos es la más apropiada para el desarrollo del presente trabajo, es necesario conocer las metodologías que permiten determinar el volumen colmatado.

2.4.1 Batimetría

Se entiende por batimetría al levantamiento topográfico del relieve subacuático, o entiéndase también como topografía hidrográfica, este levantamiento se realiza como a cualquier terreno seco.

Existen diferentes maneras de realizar la batimetría, dependiendo de la cantidad, lugar, finalidad y herramientas disponibles.

- Batimetría de posicionamiento planimétrico
- Batimetría de posicionamiento altimétrico

- Batimetría fotogramétrica
- Batimetría mediante sonar lateral
- Batimetría mediante láser
- Batimetría mediante satélites (Farjas, 2012).

Algunos trabajos batimétricos evidentemente son más costosos que otros, para el trabajo de estimación de volumen de sedimentos en un embalse es recomendable usar el método más confiable y económico.

Figura 12. Levantamiento batimétrico en un embalse.

Adaptado de Ingecon, 2018. Recuperado de <http://www.ingeconsac.com/biometria> [Consulta: 23 de agosto de 2017].

2.4.2 Estrategías técnicas para el control de la erosión y sedimentación

Existen muchas técnicas estructurales como no estructurales para reducir la producción de sedimentos; en los Estados Unidos estas prácticas son nombradas Best Management Practices (BMP), en español nos referimos a las técnicas de mejor manejo entre las cuales destacan:

- El adaptar la actividad al tipo de suelo, clima y terreno.
- Minimizar el área y duración de alteración del suelo.
- Proteger el suelo en estado natural.
- Maximizar la protección con vegetación.

- Maximizar infiltraciones.
- Controlar pendientes para prevenir la concentración de flujos.
- Preparar vías de desagüe para eliminar flujos concentrados.
- Retener el sedimento antes de su movilización; proteger y preservar la vegetación natural en zonas ribereñas.
- Planificar, monitorear y mantener las medidas de control; adicionalmente, existen otras tantas que han podido ser desarrolladas y aplicadas satisfactoriamente en otras localidades.

A continuación, se explicará el desarrollo de cada una de las estrategias básicas antes mencionadas:

Adaptar la actividad al tipo de suelo, clima y terreno

Las actividades y los trabajos del hombre realizados alrededor de la zona pueden causar erosión a gran escala, es por eso que estos trabajos deben ser medidos de acuerdo a lo que el suelo es capaz de soportar, por ejemplo, en la agricultura se recomienda evitar las áreas más erosivas y aplicar sistemas agrónomos que no sean dañinos ni perjudiquen al mismo, cabe recalcar que algunas técnicas de control de erosión que funcionan bien en una determinada área no necesariamente funcionan en otro tipo de suelo (Morris & Fan, 1998).

Minimizar el área y duración de alteración del suelo

Mientras mayor sea el área alterada del suelo, mayor será el porcentaje de erosión (Morris & Fan, 1998).

Proteger el suelo en estado natural

Suelos inalterados o en estado natural son altamente susceptibles a la erosión por el impacto de lluvias y flujos, se pueden proteger colocando cubiertas estructurales hechas con concreto o asfalto; así como la colocación de estructuras prismáticas rectangulares rellenas de piedra o tierra llamadas gaviones, estas estructuras tienen la ventaja de ser adaptables en diversas condiciones, también funcionan como presas filtrantes y controlan eficientemente la erosión en cárcavas de diferentes tamaños, y son de bajo costo; mantas de yute; con vegetación; entre otros (Morris & Fan, 1998).

Maximizar protección con vegetación

Una buena cubierta con vegetación provee la mejor, durable y más barata protección en

contra de la erosión mediante el aislamiento del suelo al contacto directo con la lluvia, infiltraciones, entre otros fenómenos. Incluso, una cubierta por áreas puede reducir drásticamente el porcentaje de erosión (Morris & Fan, 1998).

Figura 13. Reducción del porcentaje de erosión en comparación con el porcentaje de cubierta vegetal.

Adaptado de “Reservoir sedimentation handbook”, por Morris & Fan, 1998).

En la figura observamos que la mayor reducción de erosión se debe a la mayor cobertura que se le da al suelo, indistintamente del tipo de suelo.

En todos los suelos el rápido proceso de vegetar la zona es esencial para reducir la erosión.

Maximizar infiltraciones

Las precipitaciones que se infiltran en el suelo no influyen en la escorrentía superficial erosiva, y también sirve de apoyo al crecimiento de las plantas. Dichas medidas retrasan el escurrimiento mediante el ajuste de las pendientes del suelo y la permeabilidad, mejorando así la capacidad de infiltración (Morris & Fan, 1998).

Controlar pendientes para prevenir la concentración de flujos

Los procesos de erosión del canal son iniciados y sostenidos por flujos concentrados en suelos inclinados. Técnicas de control erosivo tales como desviación de caudal o flujo pueden ser usadas para desviar también la escorrentía lejos de las pendientes erosivas y contrarrestar la tendencia natural de la escorrentía a concentrarse y causar erosión del canal. La erosión potencial también se reduce mediante la limitación de longitud de la pendiente (Morris & Fan, 1998).

Preparar vías de desagüe para eliminar flujos concentrados

La concentración del flujo hace que el suelo se vuelva altamente erosivo, y se requiere una protección adecuada donde la escorrentía se concentra en los canales. Se debe usar una pendiente baja del canal para reducir el peligro de la erosión, adicionalmente darle protección al canal teniendo en cuenta la pendiente, la geometría y la descarga correspondientes a dicho canal.

La construcción de diques de contención o estructuras de caída para los canales son otra opción para el control de erosión (Morris & Fan, 1998).

Retener el sedimento antes de su movilización

Aprovechar cada oportunidad de retener los sedimentos en la escorrentía de las áreas alteradas, los sedimentos transportados por el flujo del agua pueden ser atrapados usando embalses de retención de sedimentos (Morris & Fan, 1998).

Proteger y preservar la vegetación natural en zonas ribereñas

La descarga y transporte de sedimentos por el flujo en el canal puede ser reducido mediante el mantenimiento de una amplia franja de vegetación ribereña, ya sea hierba o bosque. Se debe realizar entre las zonas de los canales de transmisión de suelo. Adicionalmente, evitar las actividades que alteren la estabilidad natural de las bases de los canales y zona adyacente al río (Morris & Fan, 1998).

Planificar, monitorear y mantener las medidas de control

Desarrollar planes de conservación del suelo y agua para facilitar la implementación de cada uso del terreno.

El monitoreo es necesario para programar el respectivo mantenimiento y para identificar cual estrategia de trabajo se debe usar y cual no.

Inspecciones periódicas son indispensables para asegurar que las medidas de control han sido apropiadamente instaladas y se ha realizado correctamente su mantenimiento (Morris & Fan, 1998).

3 ESTADO DEL ARTE

3.1 Alternativas de solución a la pérdida de volumen de agua

Existen diferentes alternativas que pueden ser aplicadas y serán expuestas a continuación:

3.1.1 Flushing

3.1.1.1 Pressure flushing

Se trata de abrir la compuerta del fondo. El nivel del embalse se mantiene constante para no perder energía y/o agua.

Por medidas de seguridad dicha compuerta debe estar preparada para cumplir con su función, es por esta razón que se debe mantener libre de sedimentos el área que rodea la compuerta. Sin embargo, esta alternativa no es aplicable a todo el embalse las velocidades son muy bajas, salvo las que se producen cerca a la compuerta (Fruchart & Camenen, 2012).

Figura 14. Principio de pressure flushing.

Adaptado de “Reservoir sedimentation – Different types of flushing”, por Fruchart & Camenen, 2012.

3.1.1.2 Drawdown flushing

A diferencia del método anterior, con el Drawdown flushing el nivel del embalse es reducido abriendo también la compuerta inferior incrementando las velocidades. De esta manera los sedimentos son transportados, el máximo de sedimentos es enviado aguas abajo del embalse, sin tener en cuenta las consecuencias ambientales.

A pesar de la eficiencia en la aplicación de esta metodología se producen altas concentraciones de sedimento que son transportados aguas abajo y el daño ambiental puede ser peligroso, la vida acuática se ve perjudicada, los peces mueren. Por ende, esta solución no es sostenible y debe ser evitada (Fruchart & Camenen, 2012).

Figura 15. Perfil longitudinal del embalse usando Drawdown Flushing.

Adaptado de “Reservoir sedimentation – Different types of flushing”, por Fruchart & Camenen, 2012.

3.1.1.3 No Flushing

No tomar acciones al respecto, es decir no hacer nada. Es una medida que hacen muchos operadores, las consecuencias no son visibles; sin embargo, tras el pasar de las décadas, los sedimentos son depositados lentamente en el fondo del embalse hasta que alcanza casi la totalidad del volumen de almacenamiento, impidiendo la producción de energía y el riego de cultivos. Con esta alternativa los sedimentos cruzan todo el embalse y dañan las turbinas y éstas deben ser reparadas muy seguido con grandes costos, hasta que finalmente la compuerta sea obstruida con sedimentos haciéndose inutilizable para siempre (Fruchart & Camenen, 2012).

Figura 16. Perfil longitudinal del embalse sin aplicar flushing.

Adaptado de “Reservoir sedimentation – Different types of flushing”, por Fruchart & Camenen, 2012.

3.1.1.4 Environmental friendly Flushing

Consiste en enviar aguas abajo solamente la cantidad de sedimentos que el medio ambiente es capaz de soportar, sin afectar su vida.

El nivel del embalse se disminuye hasta obtener una gradiente de concentración de materiales finos. Luego, esta concentración es diluida por una compuerta ubicada en medio del embalse para así poder regular los sedimentos que llegan al fondo del embalse. La eficiencia de este tipo de flushing es más eficiente que drawdown flushing presentado anteriormente (Fruchart & Camenen, 2012).

3.1.2 Obras de derivación para embalses

La derivación de los sedimentos se basa en el uso de cualquier método que permita orientar el sistema hidráulico para trasladar los sedimentos alrededor de las áreas de embalsamiento de aguas o de admisión y reducir al mínimo su deposición; existen diferentes técnicas de derivación que permiten identificar la cantidad de sedimentos en una porción del flujo de entrada, y gestionarla de forma diferente de modo que en la entrada de agua se pueda prevenir o minimizar la deposición de sedimentos durante las épocas de crecidas (Morris & Fan, 1998).

Las obras de derivación se utilizan con el fin de dejar en seco la zona donde se construirá el embalse. Sin embargo, también puede cumplir la función de desviar el curso del agua antes de que ingrese al vaso del embalse. Esta función es apropiada en época de máximas avenidas, donde el caudal se incrementa, trayendo consigo las partículas de suelo erosionado aguas arriba del embalse. Este proceso tiene por finalidad evitar que las partículas transportadas por el afluente en suspensión o por arrastre sean depositadas en el fondo del vaso del embalse, proceso que ocasionaría su pronta colmatación y reducción de tiempo de vida útil.

Dependiendo de la orografía de la zona se determinará el tipo de obra de desviación que se utilizará, ya sea por canal abierto o túnel. Debemos encauzar el río y para ello es necesario construir la ataguía, es decir una pequeña presa de baja altura, la cual se utiliza para desviar el cauce del río hacia la nueva conducción. Cabe resaltar que la ataguía debe contar con la altura suficiente para desviar la crecida de diseño de la obra.

3.1.2.1 Canal de derivación

Para este tipo de obras se debe considerar generalmente el uso de ataguías aguas arriba y aguas abajo y el canal de desviación. Asimismo, su diseño es por escurrimiento libre o por presión, sin embargo, si el caudal de diseño es muy elevado se pueden diseñar varios canales de derivación, ya sean en paralelo o en ambas caras de la rivera. Si el canal solo tiene propósitos de desviar el curso de agua durante la etapa de construcción será cerrado luego de haber terminado la construcción, de otra forma podría ser usado como un desagüe de fondo o como estructura de tomo de agua para desviar el cauce del río.

Tomando en cuenta el aporte que genera este tipo de obra para desviar el curso de agua se tiene que tener en consideración que la construcción del canal dependerá de la pendiente disponible, es decir para pendientes bajas será diseñado por un régimen subcrítico, si no

fuese este el caso será diseñado bajo un régimen supercrítico. Sin embargo, una pendiente considerable debe ser menor al 10%.

Por otro lado, es importante mencionar que esta alternativa tiene algunas desventajas: el diseño y construcción del canal representa una inversión muy elevada, poco rentable; adicionalmente, la construcción del mismo se vería dificultada debido a la topografía accidentada del terreno (Hager, 1998).

Figura 17. Canal de derivación en ambas caras de la ribera.

Adaptado de “Procesos de erosión-sedimentación en cauces y cuencas, por Balocchi y Brea, 2010.

a) Estructura de entrada:

Esta estructura de entrada debe contar con compuertas para efectuar el cierre del canal cuando no sea necesario su uso, las cuales deben soportar la carga de agua. Asimismo, las máximas velocidades en la cara de la compuerta pueden oscilar entre 6 a 10 m/s para el caudal de diseño (Hager, 1998).

b) Estructura de desvío:

En esta etapa se debe calcular el eje hidráulico a lo largo de todo el canal para tomar en cuenta las condiciones de borde. Teniendo en cuenta esto se identificará el régimen, ya sea normal o especial. En régimen normal se verificará el eje hidráulico del río en la salida, el cual se calcula como una alcantarilla con un control de salida y se puede diseñar como un acueducto estable. Sin embargo, en regímenes especiales se calcula como un acueducto estable teniendo en cuenta que se debe definir una cubeta disipadora (Hager, 1998).

c) Velocidades admisibles:

Es recomendable respetar los valores límites de la velocidad de diseño del flujo por el interior de los túneles. Estas velocidades máximas normalmente aceptadas son superiores a 5 m/s e inferiores a 10 m/s para la condición de diseño (Hager, 1998).

3.1.3 Recuperación por crecimiento de la presa

3.1.3.1 Presas inflables

La idea de la utilización de las presas inflables nace en la ciudad de Los Ángeles, Estados Unidos en la década del 50, su diseño fue desarrollado para satisfacer una necesidad que no quedaba cubierta por otros sistemas. La solución al problema consistió en el empleo de este material de goma anclado a la cimentación dentro del cauce del agua, una de las características más importantes de este elemento es que puede elevarse y descender en el momento de la introducción o extracción de agua. Adicionalmente, es resistente a la tensión derivada de mantener un desnivel de agua, resistente a la abrasión y a la penetración y es flexible para doblarse y quedar plano cuando el cauce no está en uso.

- Aplicaciones más comunes:

Si nos referimos a las aplicaciones más comunes de las presas inflables, nos podemos referir a: la utilización de compuertas neumáticas, sustitución de compuertas de madera o acero, sustitución de compuertas de goma, recrecimiento de embalses existentes, inflado y desinflado frecuente y barrera de mareas (Ayala, 2011).

Nos enfocaremos en el recrecimiento de embalses existentes como alternativa para el crecimiento del nivel de agua del embalse; es decir, las compuertas neumáticas se utilizan para incrementar la altura de presas fijas de concreto ya existentes, de la misma manera, para aumentar la capacidad del vaso del embalse.

La facilidad de instalación convierte esta alternativa en un medio apto para incrementar la altura hidrostática del embalse en estudio.

Asimismo, cuando cabe la posibilidad de deposición de grandes volúmenes de agua, las compuertas no deben tener ningún problema para emerger del lecho del río y permitir que los sedimentos sean arrastrados por la corriente del río, considerando que la altura del volumen sedimentos es menor a la altura de la compuerta (Ayala, 2011).

3.1.3.2 Clapetas (compuertas abatibles)

Se utilizan puertas móviles o abatibles y se colocan en las esclusas de los canales y en los vertederos de los embalses del río para detener o dejar pasar las aguas, es decir tienen el comportamiento de una compuerta.

Estas compuertas son equipos mecánicos que son utilizados para controlar el flujo del agua y mantenimiento en los diferentes proyectos de ingeniería, como son el caso de los embalses, canales y proyectos de irrigación. Asimismo, existen diferentes tipos que pueden clasificarse, según su forma, función y su movimiento, por lo que las diferentes formas de las compuertas dependen de su aplicación, el tipo de compuerta a utilizar dependerá principalmente del tamaño y forma del orificio, de la cabeza estática, del espacio disponible, del mecanismo de apertura y de las condiciones particulares de operación.

- Compuertas tipo clapetas

Este tipo de compuertas de acero inoxidable o acero carbonado tiene como función la regulación de las láminas de agua en los embalses, por lo que su construcción abatible, permite su instalación como azud regulable, llegando a quedar totalmente escamoteadas evitando inundaciones por avenidas. Asegura la robustez, fiabilidad y durabilidad necesarias en instalaciones de alta responsabilidad.

- Compuertas abatibles

Las compuertas clapeta tipo abatibles o basculantes son compuertas de una sola hoja que gira sobre un eje horizontal. Estas se pueden accionar por medio de un mecanismo manual mecánico o por cilindros óleo-hidráulicos.

La clapeta tipo abatible está diseñada para que, una vez insertada en un cauce natural o artificial (tal como reservorios), permita elevar el nivel de agua hasta una cota determinada, vertiendo el exceso sobre dicha cota, por su extremo superior, permitiendo, cuando sea necesario, abatirla totalmente para dejar el paso franco en un canal o bien recuperar la dinámica natural en los ríos.

Este tipo de compuertas pueden facilitar la regulación del nivel de un plano de agua y son utilizadas con fines hidráulicos para la retención de agua y recuperación de volumen. Asimismo, la creación de azudes abatibles o temporales y como vertederos móviles en las presas de los embalses o bien con fines turísticos e incluso deportivos.

Figura 18. Compuerta tipo clapeta.

Adaptado de Einar, 2016. Recuperado de <http://www.einar.es/area-re-compuestas.html> [Consulta: 02 de mayo de 2018].

3.1.4 Dragado sustentable

El dragado es la excavación subacuática de suelo siendo un método de descolmatación de sedimentos en embalses, el cual tiene un proceso de cuatro fases: excavación, transporte vertical, transporte horizontal, colocación o uso de material dragado (Bray & Cohen, 2010).

Debido a que la excavación tiene lugar generalmente bajo el agua, se realiza levantamientos batimétricos (es decir topografía subacuática) con el fin de definir la cantidad o la zona a dragar. Sin embargo, cuando hablamos de dragado se tiende a considerar solamente la fase de excavación, sin tener en cuenta la fase de transporte y colocación o uso del material extraído, las cuales requieren el mismo grado de consideración y énfasis.

Por otro lado, puede darse el caso que solo interese la fase de colocación, ignorando los beneficios o daños que pueda generar el proceso de excavación sin una adecuada gestión de disposición del material extraído. Motivo por el cual, debe considerarse la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de proyectos de dragado, así como, el costo medioambiental y económico.

Aplicaciones del dragado:

Según la IAPH (La Asociación Internacional de Puertos) y la IADC (La Asociación Internacional de Empresas de Dragado, las aplicaciones del dragado son las siguientes:

- La navegación: Cuando el objetivo es la creación o la ampliación de puertos, canales y otras instalaciones, el trabajo se llama dragado capital o de primera implantación.

Cuando es para mantener vías acuáticas existentes, puertos y canales, en general se llama dragado de mantenimiento.

- Construcción rellenos: Cuando el objetivo es proporcionar materiales de construcción como arena, grava, arcilla; o crear nuevas tierras, incluyendo la construcción de zonas industriales y residenciales, autopistas, presas, aeropuertos, carreteras y hábitats para aves y demás fauna silvestre.
- Regeneración de playas: Cuando el objetivo es proporcionar material de relleno para la protección y reposición de playas, así como la construcción de dunas protectoras.
- Recuperación medioambiental: Un uso más reciente de dragado es la eliminación o la remediación de contaminantes subacuáticos. Este tipo de operación de dragado se utiliza para limpiar aguas navegables o instalaciones subacuáticas, como asentamientos o estanques de lodo y rehabilitar proyectos de reacondicionamiento, es decir, zonas industriales contaminadas para su redesarrollo.
- Prevención de Inundaciones: Otro motivo para el dragado es la mejora o el mantenimiento de descargas fluviales, o la capacidad de caudal de los ríos, canales y/o aguas navegables, manteniendo o incrementando la sección transversal, o cambiar el curso de vías acuáticas, o la construcción de estructuras de contención como presas, diques o terraplenes.
- La Minería: Otro motivo es la extracción de minerales, piedras y metales preciosos y fertilizantes, o la eliminación de materiales suprayacentes para llegar hasta ellos.
- General: Otros motivos incluyen la excavación para cimientos subacuáticos y para el emplazamiento de tuberías de petróleo, gas, etc. y el control de inundaciones en áreas pantanosas o zonas de tierras bajas, donde sea medioambientalmente aceptable. También se utiliza el dragado para el mantenimiento de canales de riego y depósitos, infraestructuras que tendrán más importancia a medida que el mundo trate de conservar y utilizar los escasos recursos del agua dulce.

Los proyectos de dragado suelen variar en función del propósito del proyecto, el volumen y tipo de suelo a transportar. Los equipos adecuados de dragado que habitualmente están disponibles en países más industrializados no suelen estar presentes en aquellos menos desarrollados y se deben importar a un elevado costo. Es motivo por el cual la solución de dragado se debe adaptar a esta situación y tener en cuenta las necesidades de los interesados (stakeholders) locales, así como la viabilidad económica, es decir, compensar el costo de

dragar el material sedimentado con un beneficio social-económico que puede ser desde la reutilización de dicho material para su venta a ladrilleras, canteras de agregados o en su defecto la venta de metales preciosos que puedan extraer (Bray & Cohen, 2010).

3.1.5 Reforestación

La reforestación está destinada a repoblar zonas que anteriormente se encontraban cubiertas de vegetación y que ha sido eliminada por la explotación de la madera para fines industriales o para consumo como plantas, la ampliación de la frontera agrícola o ganadera, los fenómenos naturales (condiciones medioambientales) o la combinación de estos.

En tal sentido las actividades y los trabajos del hombre realizados alrededor de la zona, así como las inevitables condiciones medio ambientales pueden causar erosión de los suelos a gran escala. Las actividades del hombre deben ser medidas de acuerdo a lo que el suelo es capaz de soportar, por ejemplo, en la agricultura se recomienda evitar las áreas más erosivas y aplicar sistemas agrónomos que no sean dañinos ni perjudiquen al mismo suelo, cabe recalcar que algunas técnicas de control de erosión que funcionan bien en una determinada área no necesariamente funcionan en otro tipo de suelo (Morris & Fan, 1998).

Por esta razón, se toman medidas de protección de suelos mediante la maximización de infiltración y el uso de vegetación como se explican en el capítulo anterior, sección 2.4.2.

3.1.6 Otras alternativas

Existen otras alternativas que permitan el control de descargas de sólidos aguas arriba del embalse Gallito Ciego y de este modo se pueda preservar su volumen y prolongar su vida útil, como variantes o alternativas complementarias se tienen las siguientes:

- Reducción de los requerimientos de agua para el riego por medio de cambio de los cultivos de altos consumos de agua, así como es el arroz, con otros de consumo menor, y de este modo incrementar la disponibilidad de agua para el riego.

4 CASO DE ESTUDIO: EMBALSE GALLITO CIEGO

4.1 Características generales

El embalse Gallito Ciego se encuentra ubicado en la localidad de Tembladera, distrito de Yonán, provincia de Contumazá, departamento de Cajamarca, su función es embalsar las aguas del río Jequetepeque, aguas que luego son trasvasadas hacia las tierras del departamento de Lambayeque y tiene una capacidad aproximada de almacenamiento de 427 MMC (PEJEZA, 2015).

La represa comenzó a operar en 1988 con el fin de dar un máximo aprovechamiento al agua del río Jequetepeque, reduciendo en 75 % los escurrimientos hacia el mar (IMARPE, 2007). Dicha cantidad sirve de suministro de agua cumpliendo la demanda agrícola y poblacional en ciudades cercanas, ubicadas alrededor de los valles Jequetepeque y Zaña, un total aproximado de 42 mil hectáreas bajo riego continuo y consumo potable de aproximadamente 25 mil habitantes (Ríos, 2013).

Figura 19. Embalse Gallito Ciego.

Fuente propia, 2017.

Por otro lado, la central hidroeléctrica inició sus operaciones en 1997 abasteciendo de energía a la compañía Cementos Pacasmayo. Posteriormente, la empresa se estableció como Cementos Norte Pacasmayo Energía S.A., propiedad de la minera Hoschild. En el año 2000

el total de sus activos de generación eléctrica fueron vendidos al grupo Vattenfall, el cual contaba con operaciones comerciales en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional. En el 2003 SN Power Perú compró la central hidroeléctrica. Finalmente, en el 2014 Statkraft, principal accionista de SN Power Perú, pasó a tomar control de sus activos y operación; y actualmente es operada desde el centro de control en Lima, el caudal del agua que es devuelto al río es regulado aguas abajo de la casa de máquinas en un reservorio de compensación (Statkraft, 2018).

Estructuralmente hablando, el embalse tiene aproximadamente 12 km de largo, de ancho entre 0.5 a 2 km, cubre así un área de 14 km², una altura de 105.4 metros y un volumen total 553.54 de metros cúbicos. La misma que cubre la irrigación de más de 42 000 hectáreas, beneficiando a más de 8000 familias. La energía generada tiene una potencia instalada de 37.4 MW y una potencia efectiva de 38.15 MW, consiguiendo una potencia anual de 156 GWH, su equipo energético es de 2 turbinas de eje modelo Francis, una casa de máquinas y dos unidades de generación. La obra fundamental del proyecto de irrigación de Jequetepeque Zaña, se emplaza en el cauce del río, comprende: la presa, el vertedero, la carretera actual, la central hidroeléctrica y obras complementarias.

Posee un aliviadero de crecidas con un caudal de diseño de 1 630 m³/s (NAMO) que permite evacuar los caudales de avenidas del río. El agua cae desde 35 m a la poza disipadora de energía. Esta poza permite disipar la energía cinética de la caída de agua proveniente del aliviadero o de las válvulas de servicio “Howell-Bunger”. cuya función es la captación de servicio y la captación de fondo (estructura de evacuación de sedimentos que se encuentra obstruida por la colmatación de sedimentos) para la salida de las aguas en forma de abanico, la descarga máxima es de 70 m³ /s por cada válvula (PEJEZA, 2012).

A continuación, se detalla las etapas del Proyecto PEJEZA:

- La primera etapa que contempla la construcción de la Represa y Embalse Gallito Ciego, de aproximadamente 427 MMC de volumen útil, para el desarrollo de un área agrícola del Valle Jequetepeque de 42 700 ha, de las cuales 36 000 ha corresponden al mejoramiento del sistema de riego y drenaje que contaban desde hace tiempo con la agricultura instalada bajo riego, e incorporación al riego de 6 700 ha de tierras eriazas del valle exterior. La obra fue concluida en el año 1987 (PEJEZA, 2010).

- La segunda etapa que considera el mejoramiento del riego en el Valle Zaña de 13 600 ha que representaba el total de superficie instalada, e incorporación de 9 700 ha al riego de las tierras eriazas disponibles en ambos valles, 5 300 y 4 400 ha, en el Jequetepeque y Zaña, respectivamente. Considerándose que para este propósito los recursos hídricos propios de las cuencas comprometidas no iban a ser suficientes, se consideró necesario derivar a la cuenca del río Jequetepeque las aguas de los ríos Cajamarca y Namora, de la vertiente Oriental, por medio de la construcción de las obras hidráulicas correspondientes. Conforme con lo indicado, en la Segunda Etapa se contempló la construcción de las obras de derivación de las aguas de las cuencas de la Vertiente Occidental, mejoramiento del sistema de riego y drenaje en el valle Zaña, y ampliación del sistema de riego y drenaje sobre las tierras eriazas que se iban a incorporar en los valles aludidos (PEJEZA, 2010).

Figura 20. Embalse Gallito Ciego (potencial hidro-energético).

Adaptado de “Manejo y aprovechamiento del agua en la cuenca del río Jequetepeque”, por Rojas, 2012.

- Las obras necesarias por construirse en la Tercera Etapa exclusivamente estaban destinadas al aprovechamiento del potencial hidro-energético que se iba a crear con las obras de las dos etapas precedentes, para la generación de la energía en las centrales hidroeléctricas Gallito Ciego y San Juan.

Aunque el desarrollo cronológico del Proyecto hidroenergético, es decir la construcción de las Centrales Hidroeléctricas Gallito Ciego y San Juan coincide con la primera y segunda etapa del proyecto agrícola, respectivamente; éste se ha separado como una etapa particular debido a las diferentes condiciones de financiamiento y también por razones de distribución de los costos de inversiones respectivas sobre los dos beneficiarios distintos.

- Características estructurales y volúmenes del embalse Gallito Ciego:

Figura 21. Esquema del embalse Gallito Ciego según batimetría del 2013.

Adaptado de “Operación y mantenimiento de la presa Gallito Ciego”, por PEJEZA, 2017.

Tabla 1.
Características principales embalse Gallito Ciego.

Embalse Gallito Ciego – Niveles y Áreas	
Nivel máximo de crecidas - NAME	410.30 m.s.n.m
Nivel máximo de embalse útil - NAMO	404.00 m.s.n.m
Nivel mínimo de explotación - NAMINO	361.00 m.s.n.m
Altura de la corona	105.40 m
Longitud de la corona	797.00 m
Área del embalse en nivel 404.00 m.s.n.m.	14.20 Km ²
Área del embalse en nivel 361.00 m.s.n.m.	5.60 Km ²
Vertedero nivel corona	404.00 m.s.n.m.
Ancho de embalse en nivel 404 m.s.n.m.	0.50 y 2.00 km
Embalse Gallito Ciego – Volúmenes	
Volumen Total inicio de operaciones	638.10 MMC
Volumen Total libre de sedimentos	533.53 MMC
Volumen de crecidas	93.15 MMC
Volumen Útil inicial	426.80 MMC
Volumen Útil al 2013	366.60 MMC
Volumen Inactivo Inicial (espacio sin sedimentos)	117.90 MMC
Volumen Inactivo 2013 (espacio restante sin sedimentos)	73.79 MMC
Volumen Sedimentos en espacio útil - 2013	60.20 MMC
Volumen Sedimentos en espacio inactivo - 2013	44.11 MMC
Volumen Sedimentos en espacio crecidas - 2013	0.25 MMC
Volumen Total de Sedimentos	104.56 MMC

Nota: Características físicas del embalse Gallito Ciego. Adaptado de “Evaluación de recursos hídricos en la cuenca del río Jequetepeque”, por ANA, 2015.

Tabla 2.

Características principales central hidroeléctrica Gallito Ciego.

Embalse Gallito Ciego – Central Hidroeléctrica	
Capacidad Instalada	37.40 MW
Potencia Efectiva	38.15 MW
Generación Anual	156 GWh
Altura neta	83.00 m

Nota: Características de la central hidroeléctrica Gallito Ciego, operada por Statkraft. Adaptado de “Operación y mantenimiento de la presa Gallito Ciego”, por PEJEZA, 2017.

Se observa que la potencia efectiva es mayor que la instalada, debido a que la potencia efectiva indica la capacidad real de energía que la capacidad puede entregar de forma continua al mercado eléctrico es con la que nace la central; este dato se obtiene luego cumplir con las pruebas requisitorias del Comité de Operación Económica del Sistema (COES); adicionalmente la central hidroeléctrica es repotenciada según la demanda del sistema. Y la capacidad instalada es la capacidad de diseño.

4.1.1 Definiciones de volúmenes

El volumen inactivo del embalse: destinado para el depósito de los sólidos en suspensión y acarreos y conforme a su función es un volumen variable, que decrece paulatinamente, conforme con el avance de la colmatación. La utilización de este volumen, para la regulación y el suministro de agua para el riego, no tiene ninguna limitación, salvo la(s) capacidad(es) de equipo y accesorios instalados para su control y operación. Dentro del volumen inactivo se distinguen dos espacios, uno por debajo del nivel 350.00 m.s.n.m. únicamente accesible por medio de la captación de fondo, situada aproximadamente en el nivel 315.00 m.s.n.m., y actualmente enterrada a una profundidad de unos 20 m por debajo de los sólidos precipitados por lo que se vuelve inmanejable y fuera de uso.

El otro espacio del volumen inactivo se ubica entre los niveles 350.00 y 361.00 m.sn.m. El manejo y control del volumen de este espacio es por medio de la captación de servicio, que se en el nivel 336.75 m.s.n.m.

El volumen útil del embalse: destinado para el oportuno suministro, de agua para el riego y otros usos, en volúmenes suficientes, por medio de la regulación, estacional y eventualmente interanual, de los aportes hídricos del río Jequetepeque.

El volumen de retención de crecidas: es el espacio de regulación libre de 94 MMC, (sin compuertas, es decir sólo por medio de la capacidad hidráulica del Aliviadero de Crecidas), destinado a la aceptación y el tránsito de las avenidas del caudal máximo hasta 3 230 m³/s (NAME), actualmente con el período de retorno de 1 100 años, aproximadamente, en vez de 2 000 años considerados en el diseño, que se lamina con el nivel máximo del pelo de agua en el Embalse de 410,30 m.s.n.m (PEJEZA, 2012).

4.2 Variables hidrológicas y meteorológicas

El embalse de Gallito Ciego se encuentra ubicado en la cuenca del río Jequetepeque está ubicada en la costa Norte del Perú, la cual tiene un área total de drenaje de 3956 Km²; distribuida entre los departamentos de La Libertad (provincias de Pacasmayo y Chepén) y Cajamarca (provincias de Cajamarca, Contumazá, San Pablo y San Miguel), abarcando un total de seis provincias.

4.2.1 Unidades Hidrográficas

La cuenca del río Jequetepeque que comprende a nueve sub-cuencas descritas en este estudio tiene un área total de 3 956 Km², el perímetro una longitud total de 655,4 Km y la altitud media es de 577,2 m.s.n.m. El cauce del río Jequetepeque presenta una longitud de recorrido de 175 Km, presenta una pendiente promedio de 1,7% y las descargas son continuas durante todo el año.

El río Jequetepeque, cuyos principales tributarios provienen de zonas montañosas de ambos márgenes, se origina por la unión de los ríos Chilete y San Miguel, y tributarios como lo son: el río Magdalena, Chanta, Huertas, Cotumaza, Llaminchan y en la cuenca baja Pallac y Chiminote (Autoridad Nacional del Agua, 2015, p. 20)

El sistema hidrográfico incluye una red de drenaje de más de 30 ríos secundarios, así como un número elevado de riachuelos y quebradas menores. Geomorfológicamente 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%.

Tabla 3.
Unidades hidrográficas Cuenca del río Jequetepeque.

NOMBRE DE LA UNIDAD HIDRICA	AREA (Km ²)	%	RIO PRINCIPAL
Bajo Jequetepeque	660.5	16.70%	Tramo del Río Jequetepeque
Chausis	205.9	5.20%	Quebrada Chiminote
Medio Bajo Jequetepeque	153.3	3.90%	Tramo del Río Jequetepeque
Pallac	236.9	6.00%	Río Pallac
Medio Jequetepeque	144.3	3.60%	Tramo del Río Jequetepeque
Contumaza	187.7	4.70%	Río Contumaza
Medio Alto Jequetepeque	3.6	0.10%	Tramo del Río Jequetepeque
San Miguel	1041.9	26.30%	Río San Miguel
Alto Jequetepeque	1322.2	33.40%	Río Magdalena
TOTAL	3956.4	100.00%	

Nota: Se presentan 9 unidades hidrográficas de la cuenca del río. Adaptado de “Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Jequetepeque”, por ANA, 2015.

4.2.2 Temperatura media

Tabla 4.
Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Jequetepeque.

Nº	NOMBRE ESTACIÓN	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	LONGITUD OESTE	LATITUD SUR	ALTITUD (m.s.n.m)	FUENTE
1	AUGUSTO W	CAJAMARCA	CAJAMARCA	CAJAMARCA	78°29'5.28	07°09'59.8	2660	SENAMHI
2	CHEPEN	LA LIBERTAD	CHEPEN	CHEPEN	79°26'1	07°14'1	114	SENAMHI
3	CHILETE	CAJAMARCA	SAN PABLO	SAN BERNARDINO	78°50'15.36	07°13'27.12	850	SENAMHI
4	CONTUMAZA	CAJAMARCA	CONTUMAZA	CONTUMAZA	78°49'49	07°21'21	2610	SENAMHI
5	GRANJAPORCON	CAJAMARCA	SAN PABLO	TUMBADEN	78°37'36	07°02'2	3061	SENAMHI
6	JEQUETEPEQUE	LA LIBERTAD	PACASAMAYO	JEQUETEPEQUE	79°34'1.00	07°20'1.00	20	SENAMHI
7	LIVES	CAJAMARCA	SAN MIGUEL	UNION BLANCA AGUA	79°02'0.00	07°05'0.00	1800	SENAMHI
8	LLAPA	CAJAMARCA	SAN MIGUEL	LLAPA	78°49'49	06°59'59	2900	SENAMHI
9	MAGDALENA	CAJAMARCA	CAJAMARCA	MAGDALENA	78°39'9.10	07°15'12.40	1257	SENAMHI
10	NAMORA	CAJAMARCA	CAJAMARCA	NAMORA	78°20'20	07°12'12	2782	SENAMHI
11	SAN JOSE	LA LIBERTAD	PACASAMAYO	SAN JOSE	79°27'1	07°21'1	100	SENAMHI
12	SAN JUAN	CAJAMARCA	CAJAMARCA	SAN JUAN	78°29'44.90	07°17'26.60	2469	SENAMHI
13	TALLA	LA LIBERTAD	CONTUMAZA	YONAN	79°25'24	07°16'16	105	SENAMHI
14	TEMLADERA	CAJAMARCA	CONTUMAZA	YONAN	79°08'1.00	07°15'1.00	433	SENAMHI

Nota: Localización de las estaciones meteorológicas de control de la cuenca del río Jequetepeque. Adaptado de “Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Jequetepeque”, por ANA, 2015.

La cuenca del río Jequetepeque posee una temperatura media anual que oscila entre 25.6 °C y 9.8 °C, la mayor temperatura se registra en la estación Chepén y las temperaturas mínimas en la estación Granja Porcón. El cuadro a continuación muestra el comportamiento de la temperatura a nivel regional. Por otro lado, las anomalías representan el alejamiento del valor promedio mensual (ANA, 2015).

Tabla 5.
Comportamiento de la temperatura a nivel regional (Cajamarca).

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
AUGUSTO WEBERBAUER	14.8	14.8	14.7	14.6	14.2	13.7	13.5	14.1	14.6	14.7	14.8	14.9	14.4
CONTUMAZA	14.0	13.9	14.0	14.3	14.6	14.5	14.6	14.8	14.8	14.7	14.5	14.4	14.4
GRANJA PORCON	10.3	10.3	10.5	10.6	10.3	9.9	9.8	10.0	10.2	10.2	10.0	10.2	10.2
LLAPA	11.9	11.7	11.8	12.0	11.9	11.5	11.4	11.9	12.2	12.1	12.0	12.0	11.8
MAGDALENA	22.1	21.9	21.8	22.1	22.0	21.6	21.5	21.9	22.2	22.4	22.4	22.2	21.9
QUILCATE	10.9	10.9	10.9	11.0	10.9	10.5	10.2	10.6	10.6	11.1	11.2	11.0	10.8
SAN JUAN	15.5	15.4	15.5	15.7	16.0	16.2	16.5	16.8	16.7	16.3	16.3	16.0	16.1
SAN MIGUEL	13.2	13.0	13.3	13.5	13.8	13.7	13.8	14.0	14.0	13.7	13.6	13.4	13.6
SAN PABLO	14.9	14.9	15.1	15.2	15.6	15.6	15.7	15.9	15.9	15.6	15.7	15.4	15.4
CHEPEN	24.7	25.6	25.5	24.3	22.3	20.6	19.4	19.4	19.7	20.3	21.1	22.8	22.1
JEQUETEPEQUE	23.6	24.8	24.3	23.2	21.9	20.5	19.5	18.4	18.4	18.9	20.1	21.7	21.1
TALLA (GUADALUPE)	24.6	25.4	25.3	24.0	22.3	20.5	19.4	19.3	19.8	20.4	21.2	22.9	22.1
TEMBLADERA	24.1	24.5	24.4	23.8	22.9	21.4	20.5	20.6	21.2	21.8	22.1	23.1	22.4

Nota: Tabla con datos históricos de la temperatura en la región de Cajamarca. Adaptado de “Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Jequetepeque”, por ANA, 2015.

Figura 23. Temperatura media mensual – cuenca alta.

Adaptado de “Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Jequetepeque”, por ANA, 2015. Elaboración propia.

Figura 24. Temperatura media-mensual – cuenca baja.

Adaptado de “Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Jequetepeque”, por ANA, 2015. Elaboración propia.

4.2.3 Régimen de precipitación anual

La cuenca alta del Jequetepeque, bajo las incidencias climáticas del Pacífico presenta precipitaciones por debajo de los 250 mm anuales y en la cuenca baja presenta precipitaciones por debajo de los 30 mm en época de máximas avenidas, y éstas se presentan con mayor frecuencia en los meses de verano, concentrándose en enero, febrero y marzo.

Las precipitaciones pueden ser intensas durante la presencia del Fenómeno de El Niño en la Costa Norte del Perú, y en ocasiones alcanza magnitudes catastróficas.

El resto del año, la sierra occidental de Cajamarca se encuentra libre de precipitaciones, mientras que en las partes altas llueve durante todo el año, presentándose mayores precipitaciones durante los meses de enero a mayo, luego disminuyen hasta sus valores mínimos entre julio y setiembre, y vuelven a incrementarse a partir de octubre (ANA, 2015).

Tabla 6.
Régimen de precipitación anual (Cajamarca).

ESTACION	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
AUGUSTO WEBERBAUER	77.6	97.7	118.3	67.5	28.7	9.7	6.1	8.2	28.4	67	64.5	71.8	645.5
CHILETE	28.2	50.2	59.2	24.3	5.2	1.1	0.4	0.6	2.6	8.8	7.3	12.8	200.7
CONTUMAZA	87.9	140.1	180.8	89.8	16.6	4.3	2	2.7	11.4	28.7	22.9	39.6	648.6
GRANJA PORCON	158.5	186.7	225.9	147.1	81	25.7	15.3	20.1	66.6	129	127.7	146.1	1329.7
LIVES	75.4	123.2	143.2	57.7	15.2	6.5	2	3.2	10.3	26.4	22.1	40.1	525.3
LLAPA	119.1	154.7	201.1	116.4	45.5	17.5	8.7	14.8	45.6	87.5	68.4	91.9	971.2
MAGDALENA	53.3	84.9	106.6	47	14.1	3.3	0.8	1	8.7	23.4	21.8	38.6	403.5
NAMORA	95.4	117.1	130.3	85.7	38.3	11.2	6.7	8.7	32	90.8	70.7	89.2	776.1
SAN JUAN	137.1	186.1	215.3	104.7	27.6	10.6	3.1	4.9	21.7	61.5	59.3	95.9	927.8
CHEPEN	5.9	11.8	16.7	4.8	1	0.3	0.1	0.2	0.5	1.6	1.4	3.4	47.7
JEQUETEPEQUE	1.8	3.2	4.2	1.6	0.3	0.1	0	0.1	0.2	0.5	0.5	0.9	13.4
SAN JOSE	2.7	4.6	6.2	2.6	0.5	0.2	0	0.1	0.2	0.7	0.6	1.3	19.7
TALLA (GUADALUPE)	4.9	10.8	13.5	5	0.8	0.3	0	0.2	0.4	1.4	1.3	3	41.6
TEMBLADERA	9.7	17.9	28.5	7.4	1.2	0.3	0.1	0.3	0.7	1.9	2.3	5	75.3

Nota: Tabla que muestra el régimen de precipitación que se presenta en Cajamarca. Adaptado de “Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Jequetepeque”, por ANA, 2015.

Figura 25. Precipitación promedio mensual – cuenca alta.

Adaptado de “Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Jequetepeque”, por ANA, 2015.
Elaboración propia.

Figura 26. Precipitación promedio mensual – cuenca baja.

Adaptado de “Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Jequetepeque”, por ANA, 2015.
Elaboración propia.

Figura 28. Mapa de precipitación media anual. Cuenca Jequetepeque.

Adaptado de "Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Jequetepeque", por ANA, 2015.

4.2.4 Información de caudales

La cuenca del río Jequetepeque presenta cuatro estaciones de aforo de caudales, las cuales son monitoreadas por PEJEZA y SENAMHI. Estas estaciones hidrométricas suministran registros de niveles y caudales, registros necesarios para los proyectos de abastecimiento de agua destinada a múltiples usos, sistemas de saneamiento, en el diseño de estructuras hidráulicas, gestión del agua y en la estimación de los sedimentos en suspensión o de sustancias químicas de los ríos, incluidos también los contaminantes (ANA, 2015).

Tabla 7.

Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Jequetepeque.

Nº	CODIGO	CAT	NOMBRE ESTACIÓN	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	LONGITUD OESTE	LATITUD SUR	ALTITUD (m.s.n.m)	OPERADOR
1	201204	HLM	YONAN	CAJAMARCA	CONTUMAZA	CHILETE	79°05'56.0"	07°15'21.5"	445	SENAMHI/ PEJEZA
2	201205	HLM	LLALLAN	CAJAMARCA	CONTUMAZA	CHILETE	78°56'00.0"	07°12'00.0"	700	SENAMHI
3	201206	HLG	LAS PALTAS	CAJAMARCA	SAN PABLO	SAN PABLO	78°54'06.4"	07°11'27.0"	761	SENAMHI
4	201207	HLG	CHILETE	CAJAMARCA	CONTUMAZA	CHILETE	78°50'19.52"	07°13'11.58"	854	SENAMHI

Nota: Ubicación de las estaciones meteorológicas. Adaptado de “Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Jequetepeque”, por ANA, 2015.

4.2.4.1 El caudal del río Jequetepeque

Como se mostró anteriormente, la temporada donde las precipitaciones son más intensas y con altas descargas se da en los meses febrero, marzo y abril. Los meses enero y mayo, como los meses transitorios, entre las dos estaciones bien delimitadas, en general carecen de intensas precipitaciones y por ende carece altas descargas en el río Jequetepeque, con la excepción de los años en los cuales se manifiesta del Fenómeno El Niño en la Costa Norperuana de magnitud extraordinaria, así como ha ocurrido en los años 1982-1983 y 1997 al año 1998.

La estación hidrológica Yonán ubicada en el río Jequetepeque antes de la represa Gallito Ciego en el distrito de Yonán, provincia de Contumazá, región Cajamarca. Es donde se monitorea el comportamiento hidrológico del río Jequetepeque, por lo que se elabora y difunde reportes diarios de caudales y avisos hidrológicos de eventos extremos. sin embargo, el estudio contempla el modelamiento hidrológico a nivel diario, asimismo las estaciones pluviométricas cuentan con registros diarios desde el año 1965, por este motivo el análisis se efectuará para el periodo 1965-2015 (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2013).

Asimismo, durante el mes de febrero (año 2016) en épocas de lluvia se tuvo un caudal promedio diario de $46,10 \text{ m}^3/\text{s}$, un mínimo diario de $11,79 \text{ m}^3/\text{s}$ y un máximo diario de $150,73 \text{ m}^3/\text{s}$; A continuación, se muestra la gráfica del caudal diario (línea continua) estuvo por encima del promedio histórico (línea punteada) durante los días del 07 al 26 mes, superándolo el día 27 debido al incremento de precipitaciones.

Figura 30. Hidrograma del río Jequetepeque, mes de febrero.

Adaptado de “Botetín Hidroclimático de la dirección zonal 3 Cajamarca – La libertad”, por SENAMHI, 2017.

Durante el mes de julio (año 2016) se tuvo un caudal promedio diario de $2,09 \text{ m}^3/\text{s}$, un mínimo diario de $1,54 \text{ m}^3/\text{s}$ y un máximo diario de $2,61 \text{ m}^3/\text{s}$; a continuación, se muestra la gráfica del caudal promedio diario (línea de color azul) que estuvo por debajo del promedio diario histórico (línea punteada de color verde) durante todo el mes; de igual forma estuvo por debajo respecto al caudal del año hidrológico 2015 – 2016 (SENAMHI, 2017).

Figura 31. Hidrograma del río Jequetepeque mes de Julio.

Adaptado de “Botetín Hidroclimático de la dirección zonal 3 Cajamarca – La libertad”, por SENAMHI, 2017.

En ambas graficas se aprecia que en la época de avenidas el volumen de agua requerido es igual y/o supera la demanda del embalse. Sin embargo, en épocas de estiaje, el volumen de agua que ingresa al embalse se reduce, por lo que se debe recuperar dicho volumen, ya que este es menor debido a que una porción de este volumen se ha perdido por la colmatación de sedimentos. Asimismo, se muestra el diagrama de máximas avenidas en hasta el año 2003 donde se aprecia los meses donde existe mayor aporte de MMC de agua al embalse.

4.3 Proceso de colmatación del embalse Gallito Ciego

4.3.1 Proceso de erosión en la cuenca del río Jequetepeque

Como menciona Florian (2013):

Los estimados existentes para la zona alta revelan que un 50% de las tierras agrícolas sufren un proceso de erosión entre ligera y moderada, en tanto el resto tiene niveles aún mayores. En la zona baja, existe un grave problema de salinización debido al sobreuso de agua; el fenómeno afecta al 28% del área de riego [...] (p. 8).

Luego de realizar la evaluación sobre las condiciones en las que son desarrolladas las actividades agrícolas, forestales y ganaderas que son factores incidentes para el deterioro de las tierras en la cuenca, es posible afirmar que el proceso de erosión hídrica en su mayoría se genera debido al uso intensivo de los suelos en los cultivos y pastizales, adicionalmente a la fuerte deforestación de la zona.

De la misma manera, estos procesos se originan en periodos de grandes avenidas, que son favorecidos por las propias condiciones naturales.

El medio físico y geomorfológico, donde se produce se caracteriza por la presencia de rocas con propiedades fisicoquímicas variadas, entre ellas: calizas, areniscas, lutitas, sedimentos coluviales, aluviónicos, entre otras.

Por otro lado, hay zonas altamente inestables y se producen varios procesos morfodinámicos; estos procesos son los que originan todo el material de transporte aluvial, en relación con variadas condiciones climáticas que van desde zonas secas a húmedas; con precipitaciones desde 40 a 1300 mm al año generando corrientes de caudales irregulares. En el caso particular del fenómeno de El Niño se transportan grandes volúmenes de sedimentos en suspensión y arrastre.

A esto le sumamos la forma en que se está usando el recurso agrícola de las partes altas de la cuenca que favorece el flujo rápido del agua, por consiguiente, causa erosión de los suelos y el transporte de partículas del mismo (Girón, 2003).

Los resultados de estudios realizados antes y durante la construcción de la represa muestran una variación sustancial en cuanto al régimen sedimentario previsto versus el régimen actual al que está sometido el embalse, esto genera el cambio del régimen hidrometeorológico del río Jequetepeque y su cuenca, que en general se observa a partir de 1968/69, de su aprovechamiento indiscriminado y del mal manejo de la cuenca.

Girón (2003), afirma qué:

El cambio del régimen hidro-meteorológico del Río Jequetepeque y de su cuenca, la forma en que están siendo utilizadas las tierras de la cuenca media y alta, asociado a inestabilidad natural de la zona son las causas principales del proceso de erosión hídrica de los suelos, con la consiguiente pérdida de suelo y producción de sedimentos que al llegar al embalse Gallito Ciego, afectan su vida útil [...] (p. 30).

4.3.2 Efectos de la erosión hídrica de los suelos sobre el embalse Gallito Ciego

La represa Gallito Ciego está sufriendo una colmatación acelerada, debido a la inestabilidad de las vertientes de los ríos tributarios que desembocan al río Jequetepeque; este proceso se ha incrementado con los recientes períodos húmedos que han ocurrido últimamente, este fenómeno está acortando la vida útil de la represa (Girón, 2003, p. 31).

Debido a los efectos del fenómeno El Niño del año 97, la represa incrementó su volumen sedimentado, entre materiales en suspensión y de arrastre. El aporte promedio anual de sólidos por parte del río para el periodo comprendido entre 1943 y 1999 ha alcanzado 2.9 MMC, cuando en un principio se había calculado solamente 1.7 MMC como cálculo de diseño; sin embargo, se calcula también que desde el año 1968 en adelante, el aporte promedio anual aumentaría de 2.9 MMC a 3.4 MMC, lo que reduciría la vida útil del embalse a 33 años (Girón, 2003, p. 34).

La cantidad total de sólidos en un periodo de 11 años (1987-1998) era de 52.4 MMC, 39.8 de ellos como sólidos de suspensión y siendo los 13.5 MMC restantes como sólidos de acarreo.

La batimetría de mayo del 1999 determinó que el embalse ha perdido 65 MMC en volumen sedimentado, detallado a continuación:

- 41.7 MMC se encuentran depositados en la zona de “cola” del embalse.
- 15.1 MMC en la zona cercana al dique y estructuras de captación.
- 8.2 MMC repartidos a lo largo del vaso.

El Volumen total de material fino ingresado por suspensión supera los 45 MMC que representa alrededor del 70% del material sedimentado.

Posteriormente se realizaron dos batimetrías más al 2000 y 2002 donde el volumen sedimentando llegó a los 79 MMC (Girón, 2003, p. 34).

4.3.2.1 Batimetrías oficiales del embalse Gallito Ciego

Tabla 8.

Evaluación topográfica – batimétrica del Embalse Gallito Ciego.

Descripción	Cota (m.s.n.m)	ESTUDIO SALZGITTER 1991	ESTUDIO BATIMÉTRICO			
			PEJEZA			
			1993	1999	2000	
Volumen de crecidas	410.3 - 404.0	93.4	-	94.16	94.42	
Volumen útil	404.0 - 361.0	426.8	419.61	394.75	392.02	
Volumen inactivo	Menor a 361.0	117.9	107.87	84.93	88.38	
Volumen total (MMC)		638.1		573.84	574.82	
Descripción	Cota (m.s.n.m)	ESTUDIO BATIMÉTRICO				
		HyO INGENIEROS (OPEMA - JEQUETEPEQUE)				
		2006	2007	2010	2013	2017*
Volumen de crecidas	410.3 - 404.0	93.67	93.73	93.43	93.15	92.4
Volumen útil	404.0 - 361.0	375.84	379.9	371.63	366.6	366.08
Volumen inactivo	Menor a 361.0	88.38	82.3	80.39	73.79	68.01
Volumen total (MMC)		557.89	555.93	545.45	533.54	526.49

Nota: Datos batimétricos obtenidos de los estudios realizados al embalse, por H&O Ingenieros, 2017.

*El último estudio batimétrico oficial al embalse fue realizado en el año 2017; sin embargo, los resultados aún no han sido publicados en un documento formal, motivo por el cual utilizaremos la información batimétrica del año 2013 para todo el análisis del presente estudio.

Consolidado de la información al 2013:

- Volumen Total Actual del reservorio, comprendido entre las cotas 335.00 m.s.n.m hasta la 410.30 m.s.n.m, es de 533.54 MMC.
- Volumen de Crecidas, comprendido entre las cotas 410.30 m.s.n.m a la 404.00 m.s.n.m es de 93.16 MMC.
- Volumen Útil, comprendido entre las cotas 404.0 m.s.n.m a la 361.00 m.s.n.m es de 366.60 MMC.
- Volumen Inactivo, comprendido en los niveles menores a 361.0 m.s.n.m es de 73.79 MMC.
- Volumen Total Sedimentado, con respecto a la medición inicial del año 1991 es de 104.56 MMC
- El volumen útil perdido al año 2013 representa un total de 14,1%.

El análisis de los aportes sólidos anuales muestra que sólo durante el año hidrológico 1997-98 ingresó al reservorio cerca de 65% de la cantidad total desde el inicio de operación (Delgado, 1999). Esto demuestra que, cuando se evalúa el total de sólidos que recogerá un embalse a lo largo de su vida útil, la masa total está constituida esencialmente por las descargas sólidas producidas en los períodos extremadamente húmedos (Ríos, 2013).

4.4 Proceso de sedimentación en el embalse Gallito Ciego

La colmatación que ocurre en el embalse Gallito Ciego se debe a la erosión de suelos que genera desprendimiento y acarreo de sedimentación, como consecuencia de dos procesos: por decantación del material en suspensión y por decantación del material de arrastre.

Ambos procesos están ligados a la velocidad y a la granulometría del material del cauce, por cual hay dos condiciones. El primer proceso ocurre cuando el material en suspensión es transportado por el río hacia el interior del embalse y se deposita en toda su extensión, nos referimos a material en suspensión a las partículas más finas; solamente una porción de todo este volumen es purgada por la estructura de servicio o por el vertedero de crecidas. Todo este volumen retenido depende del tiempo de permanencia del agua en el embalse, es decir, de la relación entre la capacidad del embalse y la masa anual del río.

Por otro lado, la decantación del material de arrastre ocurre porque la profundidad de agua aumenta en la entrada del embalse, la gradiente hidráulica tiende a ser cero. Es por eso que la capacidad de transporte es muy pequeña y el material de arrastre no puede ser transportado comúnmente y quedan acumulados en la misma entrada del embalse, formándose finalmente el delta de cola.

El proyecto especial Jequetepeque – Zaña realiza estudios y tomas de muestras en forma horaria durante la época de avenidas y una muestra diaria en la temporada de estiaje. Por lo que, el aporte medio anual del río Jequetepeque en años secos es 0.57 MMC, en años húmedos es de 4.5 MMC. Desde el inicio de operación del embalse, la colmatación se ha dado a razón de 5.54 MMC por año en promedio. Se ha estimado que 90% del total de sólidos ingresa a Gallito Ciego entre febrero y abril cada año (Delgado, 1999).

Tomando en cuenta todo lo anterior, el control de volumen sedimentado es incierto por lo que la Dirección Ejecutiva del Proyecto Especial Jequetepeque – Zaña ha implementado un nuevo mecanismo de monitoreo de los volúmenes de sedimentación más eficaz, basándose en trabajos de topografía y batimetría en el embalse, obteniendo mayor precisión de los volúmenes de sedimentos depositados que con las mismas fórmulas experimentales.

Las batimetrías del embalse permitirán obtener la curva Altura vs Volumen más próxima a la realidad (Statkraft, 2015).

4.4.1 Sedimentos retenidos según batimetría oficiales del embalse Gallito Ciego

Desde el inicio de operaciones del embalse se vienen realizando controles batimétricos que permiten conocer cuál es el volumen sedimentado y cómo es que va incrementando con el paso del tiempo.

A continuación, presentaremos una tabla con datos oficiales de las últimas batimetrías realizadas en el embalse:

Tabla 9.

Controles batimétricos oficiales – sedimentos (1991-2017).

Levantamiento 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

Nota: Datos de sedimentos en el embalse, por H&O Ingenieros, 2017.

De la presente tabla se aprecia el mayor incremento de sedimento. Este se presentó entre el año 1997/99 donde ocurrió el Fenómeno del Niño que contribuyó a un excesivo ingreso de sedimentos que al embalse. El cual comparado con el año 1993, presentó un incremento del 17.22 MMC a 64.26 MMC.

De la misma manera, podemos observar el incremento acelerado del volumen de sedimentos desde el inicio de operaciones hasta el año 2013 un total de 104 MMC; esto representa un total de 24.5% del volumen útil inicial, motivo por el cual, es sumamente importante plantear una alternativa que permita recuperar el volumen útil perdido.

4.5 Análisis y fundamentación de alternativas a la pérdida de agua por colmatación

El problema que buscamos solucionar es la pérdida de capacidad de almacenamiento y la reducción de la vida útil. Se tiene como línea base la cantidad de volumen útil perdido del embalse Gallito Ciego. El cual según la última batimetría del 2013 redujo su volumen útil a 366.60 MMC, es decir, se encuentra con un grado de colmatación acelerado, ya que según el estudio de factibilidad de Gallito Ciego que se realizó en 1973, en la primera etapa del proyecto se preveía un volumen de sedimentación de 1,75 MMC/año, con un volumen inactivo de 87,5MMC, el cual se colmataría en 50 años. Sin embargo, este se elevó a 3,4 MMC anuales y también se vio afectado por las máximas avenidas ocasionadas por el fenómeno del niño.

Es por ello que se plantearán alternativas que puedan ser aplicadas al proyecto, de las cuales se tomará una o más como solución para recuperar el volumen perdido. Para las siguientes propuestas se tomó como base información batimétrica y cálculo de sedimentación aprobada por PEJEZA y la empresa Satkraft Perú S.A. (ANA, 2015).

En general, la colmatación de embalses se debe a la descarga de sólidos, tanto en suspensión como del fondo, que se mueven y transportan debido a la fuerza hidráulica de los cursos naturales de agua. Las descargas hídricas que ingresan al vaso de embalse decantan e/o inmovilizan debido a la disminución de energía hidráulica, por el remanso formado por el represamiento de la corriente. Conforme a lo indicado, la protección de embalses de la colmatación se puede lograr impidiendo que los sólidos, en suspensión y arrastre ingresen al embalse por medio de alguna de las siguientes alternativas, o sus combinaciones:

- El proyecto no se altera, es decir no se interviene en la gestión de recursos y tratamiento de la cuenca ni se altera la ingeniería del proyecto.
- Derivar el flujo de aguas excedentes durante las épocas de avenidas, que por su carácter justamente de excedentes sólo transitan por el vaso del embalse. Al impedir que ingresen al embalse, también se desvía la carga de sólidos fuera del vaso, donde se iban a precipitar inminentemente;
- Elevar el volumen útil de la presa por medio de clapetas que permitan incrementar en 3 m de altura la lámina de agua.
- Dragado económicamente sustentable por medio la reutilización del material extraído o la venta de metales que se encuentran en el fondo del embalse.

- Reforestación de los principales afluentes como medida de reducción de la erosión del suelo.

En gran parte todas las medidas son de efectos parciales y limitados, tanto en control de sólidos en suspensión como de arrastre de fondo, es decir, el control total de ingreso de los sólidos al embalse casi es imposible de lograr, salvo que los espacios para la decantación del material en suspensión se formen en la misma cola del embalse, las cuales pueden ser derivadas.

Dentro las medidas en la cuales no interviene procesos ingenieriles se hallan las naturales, como son la forestación y formación de las barreras vivas en los cauces de las corrientes en la parte alta y baja de cuenca y las medidas técnicas y reglamentarias referentes al manejo y uso adecuado de los suelos.

Las medidas constructivas consisten en varios tipos de obras civiles e hidráulicas, así como son muros de contención, obras de encauzamiento, diques de cierre, umbrales, vertederos, obras de represamiento y uso de clapetas. Obras que tienen como propósito la retención de sólidos, el desvío del curso del agua por medio canales en épocas de máximas avenidas (cabe resaltar entre febrero e inicios de mayo); la estabilización de las laderas impidiendo los deslizamientos activos e inactivos. la formación de depósitos naturales de sólidos en las cuencas y el incremento del volumen útil por medio de uso de clapetas, las que elevarían en 3.00 m el vertedero y consigu incrementado el volumen útil. Del mismo modo, la regulación de los cauces y cursos de las corrientes, regulación de escorrentías y descargas hídricas, formación de embalses hídricos y de sólidos y otros.

Teniendo en consideración el régimen hidráulico y sedimentario del río Jequetepeque, las medidas principales para la protección del Embalse Gallito Ciego de la colmatación pueden ser constructivas, que en general tienen los efectos a corto plazo, y que podrían complementarse con medidas no constructivas de mediano hasta largo plazo (PEJEZA, 2016).

4.5.1 Alternativas de solución aplicables al embalse Gallito Ciego

Se utilizarán datos históricos del río Jequetepeque como referencia para el análisis de las alternativas propuestas, tales como: los años muy húmedos, normalmente húmedos, normalmente secos y muy secos. A su vez se usarán los caudales máximos, mínimos, los

periodos de máximas avenidas y los aportes de sedimentos del río Jequetepeque al embalse Gallito Ciego durante todos sus años de operación.

Las figuras 32 y 33 nos muestran la simulación pronosticada de la colmatación del embalse entre los años 2003 – 2037.

Figura 32. Simulación pronosticada de la colmatación del embalse.

Adaptado de “Operación y mantenimiento de la presa Gallito Ciego”, por PEJEZA, 2017.

La presente grafica nos indica que para aportes hídricos anuales acumulativos mayores a 38 mil MMC el volumen de sedimentos superaría los 130 MMC dejando el volumen inactivo colmatado en su totalidad y ocupando alrededor de 12 MMC del volumen útil.

Figura 33. Simulación pronosticada de la colmatación del embalse en años.

Adaptado de “Operación y mantenimiento de la presa Gallito Ciego”, por PEJEZA, 2017.

Del gráfico anterior de colmatación pronosticada se puede apreciar que para el año 2037, se habrían acumulado 177 MMC de sedimentos, que en términos de volumen podemos hablar del total del volumen inactivo del embalse. Los cálculos se pueden corroborar en el ANEXO N° 10.

4.5.1.1 El Proyecto no se altera

Es decir, no se interviene en la gestión de recursos y tratamiento de la cuenca ni se altera la ingeniería del proyecto.

Se tomó como línea base el año 1999, donde se considera que la demanda de agua para riego actual y la eficiencia de uso de 42 % se mantienen inalterables, y que no se hará nada por reducir el régimen acelerado de colmatación actual. A continuación, se presenta el régimen de colmatación en el siguiente cuadro (PEJEZA, 2015).

Tabla 10.

Régimen de colmatación real.

Volumen del Embalse al año 1999:	
Volumen Inactivo	85.00 MMC
Volumen útil	394.80 MMC
Volumen de regulación de Crecidas	94.20 MMC
Total	574.00 MMC
Régimen de sedimentación anual a partir de 1999	
Volumen Inactivo	1.60 MMC
Volumen útil	1.80 MMC
Régimen y superficie física de Riego	
Irrigable sin reservorio hasta el 2004	24000.00 ha.
Irrigable aún sin Reservorio a futuro	28000.00 ha.
Máximo irrigable con Reservorio	
V. Útil = 426.8 MMC	42000 ha.

Año	Volumen inicial del reservorio MMC	Colmatación del Volumen útil del reservorio MMC	Volumen útil del reservorio	Área irrigable sin reservorio (ha)	Área de riego adicional con reservorio (ha)	Área Física total irrigable (ha)
1988	426,8	--	426,8	24 000	6 846	30 846
1993	426,8	7,2	419,6	24 000	6 846	30 846
1999	419,6	24,8	394,8	24 000	6 846	30 846
2004	394,8	9	385,8	24 000	6 846	30 846
2025	385,8	37,8	348,0	28 000	11 415	39 415
2055	348,0	54,0	294,0	28 000	9 644	37 644

Nota: Colmatación en el embalse pronosticada de acuerdo a datos obtenidos de las batimetrías oficiales.

Adaptado de “Operación y mantenimiento de la presa Gallito Ciego”, por PEJEZA, 2017.

En la tabla anterior observamos la forma en la que continúa el régimen actual de colmatación acelerada (3,3 MMC anuales), de la misma manera se mantiene inalterable la demanda de agua, elevada por baja eficiencia de riego (42%).

Actualmente 46,9 % (1,6MMC) de azolve se deposita como volumen inactivo y 1,8 MMC como volumen útil; por lo tanto, en el 2052 se terminaría de colmatar el volumen inactivo. Del año 2052 en adelante todo el azolve (3,3 MMC anuales) colmatarían el volumen útil.

Por lo expuesto, no alterar el proyecto y mantener su régimen de colmatación actual provocaría la inutilidad de operaciones en el embalse en el año 2055 (PEJEZA, 2015).

4.5.1.2 Canal de derivación

Esta alternativa consiste en realizar el dimensionamiento aproximado de un canal de derivación, el cual tiene como finalidad reducir la cantidad de sólidos en suspensión y arrastre que ingresan al embalse, derivando los excedentes de descarga del río Jequetepeque en los meses de máxima descarga (enero – abril), especialmente en los años extraordinariamente húmedos.

Este canal parte desde el río Jequetepeque en la provincia de Tumbes, circunda el embalse por el límite sur y luego descargará nuevamente en el río Jequetepeque aguas abajo del embalse.

Figura 34. Proyección del canal de derivación.

Elaboración propia, 2018.

La mayor demanda se presenta en los meses de diciembre y marzo como se muestra en la siguiente tabla, la demanda no se verá afectada debido a que el agua derivada regresa a su cauce aguas abajo del reservorio.

Tabla 11.

Demanda bruta de agua por clase y tipos.

DEMANDA DE AGUA		VOLUMEN DE AGUA (hm3)												VOLUMEN TOTAL (hm3)
		2015					2016							
CLASE	TIPO	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	
USO POBLACIONAL		0.536	0.518	0.536	0.518	0.536	0.536	0.484	0.536	0.518	0.536	0.518	0.536	6.308
USO PRIMARIO		0.67	0.648	0.67	0.648	0.67	0.67	0.605	0.67	0.648	0.67	0.648	0.67	7.887
USO PRODUCTIVO		30.83	25.418	25.024	61.939	108.45	136.96	121.29	90.747	46.736	14.85	14.212	13.85	690.303
OTROS USOS:	AGRARIO	1.778	1.692	1.778	2.21	3.118	3.118	2.729	3.118	2.21	1.778	1.692	1.778	26.999
(MOTOBOMBAS)														
VOLUMEN TOTAL		33.814	28.276	28.008	65.315	112.77	141.28	125.11	95.071	50.112	17.834	17.07	16.834	731.497
SECTOR HIDRAULICO (hm3)														
CAUDAL PROMEDIO POR		12.625	10.909	10.457	25.199	42.105	52.749	51.715	35.495	19.333	6.658	6.586	6.285	
SUB SECTOR HIDRAULICO (m3/s)														

Nota: Demanda de agua de Jequetepeque y Zaña. Adaptado de “Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Jequetepeque”, por ANA, 2015.

Para el diseño del canal se tomará en cuenta los caudales de ingreso durante los meses de máximas avenidas y su retención de sólidos durante dicho periodo.

Tabla 12.
Caudal medio mensual del río Jequetepeque 1942 – 2003.

CAUDAL MEDIO MENSUAL DEL RIO JEQUETEPEQUE														
PERIODO : 1942 - 2003														
DESCARGA MEDIA MENSUAL (m3/s)														
N°	AÑO HIDROLOGICO	MES												MASA ANUAL
		AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	
2	1943-44	3.58	2.58	8.51	7.72	16.02	11.20	78.50	130.30	40.08	18.11	6.91	4.82	328.33
3	1944-45	3.51	3.01	3.51	1.39	5.90	19.12	82.01	103.01	63.50	17.88	5.90	4.52	313.26
4	1945-46	3.51	2.70	2.69	8.41	12.40	48.98	65.10	62.31	42.90	18.71	9.10	4.59	281.41
5	1946-47	2.61	1.50	5.19	9.41	7.92	9.41	30.38	29.68	52.89	42.90	12.38	6.98	211.27
6	1947-48	4.82	6.29	19.41	30.21	30.09	82.40	41.91	53.20	56.48	22.10	12.38	6.31	365.62
7	1948-49	3.88	3.51	21.80	26.20	6.98	4.41	56.09	157.41	130.21	24.72	11.50	7.80	454.51
8	1949-50	4.59	3.09	4.29	6.98	1.38	1.90	21.49	50.10	51.58	18.11	7.21	5.19	175.93
9	1950-51	2.91	2.01	2.99	6.21	16.61	16.95	31.00	32.41	27.01	12.10	5.29	3.21	158.69
10	1951-52	1.79	1.58	2.61	14.00	20.91	46.18	37.91	90.69	99.19	23.48	10.92	5.79	355.06
11	1952-53	3.88	2.82	2.31	1.00	9.00	51.30	220.11	236.19	200.39	32.59	15.08	7.62	782.30
12	1953-54	4.59	5.09	9.18	23.42	28.60	33.71	38.48	74.78	26.12	21.51	7.10	4.41	277.00
13	1954-55	2.91	2.08	11.39	22.18	4.89	28.60	67.92	73.10	43.02	25.09	14.70	6.31	302.19
14	1955-56	4.18	4.59	3.40	3.40	8.81	16.80	68.62	126.01	78.01	20.98	6.71	6.01	347.52
15	1956-57	3.81	3.01	16.32	8.10	2.80	9.11	37.41	131.50	118.40	47.01	21.91	7.92	407.29
16	1957-58	5.41	5.29	3.99	10.80	11.39	38.08	30.59	81.21	52.20	32.89	14.58	6.20	292.63
17	1958-59	4.52	2.89	5.11	1.89	1.90	2.39	23.52	93.12	73.42	45.10	13.31	6.31	273.49
18	1959-60	3.88	2.58	4.89	9.10	23.48	20.01	50.72	72.51	58.91	28.11	9.68	4.89	288.79
19	1960-61	3.21	3.09	3.10	5.40	7.99	31.40	36.71	55.41	47.61	23.89	11.07	3.81	232.68
20	1961-62	1.79	1.58	1.08	1.50	6.31	34.31	71.10	103.01	87.50	27.59	10.92	4.29	350.99
21	1962-63	2.91	2.08	1.61	2.08	0.78	1.31	5.08	79.19	69.98	18.89	6.21	3.21	193.35
22	1963-64	2.91	1.31	2.20	7.72	21.80	33.79	41.09	49.99	76.31	27.11	8.72	4.82	277.77
23	1964-65	4.41	3.51	7.21	21.91	5.41	6.38	11.41	121.90	91.71	30.91	9.41	5.11	319.29
24	1965-66	2.80	3.51	12.81	23.42	9.00	47.12	23.40	24.38	22.61	17.88	6.48	3.10	196.50
25	1966-67	1.90	1.39	10.12	9.30	3.81	34.09	125.70	111.30	36.38	18.29	9.10	5.60	366.99
26	1967-68	3.21	2.08	7.09	4.71	2.50	2.99	7.40	24.08	11.30	4.70	2.70	1.49	74.27
27	1968-69	0.78	1.70	11.31	6.91	3.99	9.11	26.91	48.50	75.81	12.69	7.48	2.39	207.59
28	1969-70	1.31	0.81	2.20	9.80	33.19	40.70	20.50	39.31	33.22	37.90	11.30	4.41	234.65
29	1970-71	2.39	2.89	10.19	20.49	29.79	18.41	30.92	148.11	133.91	29.68	13.62	7.50	447.91
30	1971-72	5.90	5.02	15.61	15.59	19.71	28.90	28.40	136.98	77.31	27.29	13.12	6.20	380.02
31	1972-73	4.52	3.70	3.58	4.28	12.69	47.19	36.09	86.10	166.78	49.40	18.29	10.72	443.34
32	1973-74	7.09	13.50	23.30	29.90	26.51	44.50	83.79	75.08	29.40	14.41	9.10	4.89	361.48
33	1974-75	2.61	2.89	12.69	7.79	9.60	20.20	59.48	129.29	102.89	33.79	17.28	8.36	406.89
34	1975-76	5.00	6.60	23.30	17.59	7.21	29.61	61.88	85.69	49.81	24.42	13.31	4.41	328.81
35	1976-77	2.80	1.81	1.38	1.81	2.31	29.68	121.40	73.59	59.18	23.00	11.50	4.89	333.37
36	1977-78	2.20	2.31	2.91	6.10	12.51	5.90	8.31	10.42	20.29	21.39	7.21	2.80	102.36
37	1978-79	1.38	1.31	1.08	3.59	6.09	11.31	26.41	123.92	29.59	13.22	6.21	2.50	226.61
38	1979-80	1.49	3.09	1.31	0.69	0.49	1.01	3.80	8.59	12.00	3.29	2.08	0.41	38.24
39	1980-81	0.00	0.00	5.56	15.51	32.11	10.60	103.51	97.41	26.20	11.61	7.21	3.51	313.23
40	1981-82	1.38	1.39	6.61	15.70	20.68	12.81	29.72	20.39	33.22	16.91	7.91	3.29	170.00
41	1982-83	1.31	1.39	13.40	17.21	53.91	85.39	49.69	174.21	152.51	81.39	27.58	12.51	670.49
42	1983-84	5.79	6.10	8.10	6.71	27.52	15.79	188.29	173.01	67.79	65.79	23.19	13.10	601.17
43	1984-85	5.11	4.40	18.11	8.80	19.00	11.01	17.98	23.71	15.01	8.70	4.78	2.39	139.00
44	1985-86	1.31	1.58	2.50	1.31	8.59	22.89	25.30	20.39	68.71	21.09	6.71	2.80	183.18
45	1986-87	1.19	1.12	1.49	7.21	8.21	57.20	57.42	30.69	20.60	18.82	5.09	2.20	211.25
46	1987-88	2.09	0.89	4.33	6.29	8.81	25.99	53.20	29.08	39.12	18.44	8.02	2.43	198.69
47	1988-89	0.67	0.69	4.07	14.16	9.33	36.66	109.71	101.29	87.58	23.93	9.07	4.82	401.98
48	1989-90	2.24	3.55	20.95	13.50	4.14	5.97	18.35	15.53	14.35	10.45	5.25	2.20	116.50
49	1990-91	0.37	1.12	10.30	16.98	17.36	5.68	9.71	50.52	28.36	19.38	4.98	1.72	166.47
50	1991-92	0.41	0.35	1.08	2.20	5.04	14.64	7.44	20.53	42.32	16.91	7.64	1.64	120.21
51	1992-93	0.41	1.16	5.30	6.40	3.88	3.85	50.39	166.55	113.00	33.71	11.88	4.82	401.36
52	1993-94	2.02	2.70	16.69	35.49	28.15	69.89	83.91	119.77	115.93	35.80	16.36	15.57	542.29
53	1994-95	2.39	3.09	3.73	6.60	11.01	9.07	47.41	43.72	41.47	14.41	5.83	3.25	191.98
54	1995-96	1.68	1.31	2.50	13.53	18.25	39.14	73.63	116.47	66.51	18.99	8.90	3.48	364.41
55	1996-97	1.39	1.72	6.35	5.94	2.69	3.43	27.24	19.30	15.51	11.28	4.24	1.46	100.54
56	1997-98	0.37	0.46	2.69	16.44	72.66	115.33	230.24	321.46	173.61	63.32	21.64	10.23	1,028.45
57	1998-99	5.75	4.36	7.40	12.54	4.93	15.36	164.83	110.07	63.45	49.78	23.34	14.56	476.36
58	1999-2000	4.14	10.97	16.46	9.57	31.94	13.24	75.66	163.46	87.36	65.07	24.54	9.64	512.06
59	2000-2001	4.27	4.75	4.41	2.04	20.39	88.94	82.72	237.64	127.75	40.48	21.82	10.03	645.26
60	2001-2002	5.00	7.31	5.52	21.49	23.97	16.77	40.64	154.26	130.02	29.41	13.80	5.50	453.70
61	2002-2003	2.73	2.47	8.71	26.89	52.36	32.96	49.54	50.81	48.01	22.05	10.83	3.98	311.33
MAXIMA		7.09	13.50	23.30	35.49	72.66	115.33	230.24	321.46	200.39	81.39	27.58	15.57	1,028.45
MEDIA		2.88	2.88	7.19	11.49	15.69	27.68	57.59	92.94	68.54	26.96	10.94	5.29	324.30
MINIMA		0.00	0.00	1.08	0.69	0.49	1.01	3.80	8.59	11.30	3.29	2.08	0.41	38.24

Nota: Tabla histórica del caudal medio mensual en el río Jequetepeque. Adaptado de “Operación y mantenimiento de la presa Gallito Ciego”, por PEJEZA, 2017.

De la tabla anterior, se observa que en los años 1989 – 1990 el caudal del río presento valores mínimos de 116.50 m³/s. A continuación, se presenta un diagrama de dispersión para determinar con respecto a qué caudal (anual) se retiene un volumen de sólidos.

Figura 35. Volumen de escorrentía vs retención – anual.

Adaptado de “Operación y mantenimiento de la presa Gallito Ciego”, por PEJEZA, 2017. Elaboración propia, 2018.

Del mismo modo, se realizará un diagrama de dispersión para los meses de máximas avenidas que muestre a partir de 116.50 m³/s la cantidad de sólidos que se desviarían por el canal con la finalidad de evitar que ingresen al embalse.

Figura 36. Volumen de esorrentía vs volumen de retención – máximas avenidas.

Adaptado de “Operación y mantenimiento de la presa Gallito Ciego”, por PEJEZA, 2017. Elaboración propia, 2018.

Esto nos permite garantizar que para caudales superiores a $117 \text{ m}^3/\text{s}$ (mayor a $116.50 \text{ m}^3/\text{s}$ obtenidos de la (Tabla N° 12) se evacuaran alrededor de 0.5 MMC en épocas de máximas avenidas.

El canal tendría una longitud de 10.25 Km, una pendiente de 0.0005, caudal de diseño de $117 \text{ m}^3/\text{s}$ y rugosidad $(n) = 0.015$. A continuación, el dimensionamiento del canal con máxima eficiencia hidráulica:

Lugar: **Tembladera - Gallito Ciego** Proyecto:
Tramo: Revestimiento: **Concreto**

Datos:

Caudal (Q): m³/s
Talud (Z):
Rugosidad (n):
Pendiente (S): m/m

Resultados:

Tirante (y): m
Perímetro (p): m
Radio hidráulico (R): m
Velocidad (v): m/s
Energía específica (E): m-Kg/Kg

Ancho de solera (b): m
Área hidráulica (A): m²
Espejo de agua (T): m
Número de Froude (F):
Tipo de flujo: **Subcrítico**

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Figura 37. Diseño para una sección trapezoidal de máxima eficiencia hidráulica.

Elaboración propia, 2019.

Siguiente paso, hacer el cálculo del borde libre:

Tabla 13.

Cálculo del borde libre.

Q (m ³ /s) =	117.0000
n =	0.0150
z =	0.50
Y (m)	4.97
b (m)	6.14

V (m/s)	2.73
Am (m ²)	42.81
Rh (m)	2.48
Pm (m)	17.24

BL	1.51
H	6.50

Nota: Cálculo del borde libre de acuerdo a los datos obtenidos en el diseño anterior. Elaboración propia, 2019.

Las dimensiones escogidas del canal serán:

- Altura (H): 6.50 m
- Tirante (y): 5.00 m
- Solera (b): 6.15 m
- Espejo de agua (T): 11.10 m
- Espesor de canal: 0.25 m

Dimensiones que nos permitirán proponer una sección tentativa del canal:

Figura 38. Sección transversal canal de derivación.

Elaboración propia, 2019

Habiendo culminado con el dimensionamiento realizamos un presupuesto con los resultados obtenidos, teniendo como monto a invertir la cantidad aproximada de 31 millones de dólares. Dato que puede ser verificado en el ANEXO N°1.

Luego de presentar el dimensionamiento es necesario mencionar algunos inconvenientes que presenta la construcción de esta alternativa:

- En primer lugar, para que el canal se mantenga sobre el nivel del espejo libre de agua en el embalse y la presa misma, el canal tendría que ser derivado en la cota 420 m.s.n.m., aguas arriba del punto de descarga de la quebrada La Ramada. En este caso, el fuerte acarreo de la quebrada y todas las otras de menor magnitud que actualmente descargan directamente en el reservorio, terminarían por colmatar el cauce del canal de derivación provocando su desbordamiento o impidiendo su funcionamiento.
- Adicionalmente, la capacidad de transporte de sólidos en suspensión y arrastre del río Jequetepeque en la derivación sería mayor que la del cauce del canal debido a la menor velocidad de este último. Por consiguiente, buena parte del material acarreado se sedimentaría al inicio del cauce del canal, encareciendo su mantenimiento y reduciendo su efectividad.

Finalmente, a manera de resumen presentaremos una tabla que permitirá analizar la factibilidad de esta alternativa.

Tabla 14.

Pros y contras acerca de la construcción de un canal de derivación.

Pros	Contras
<p>El diseño y construcción de un canal de derivación del caudal del río para evitar que ingrese junto con gran volumen de sedimentos cada año ha sido siempre una alternativa de solución atractiva, ya que nos permitirá ser capaces de tener un control sedimentario más efectivo y adecuado.</p> <p>El propio diseño no afecta estructuralmente a la estructura del embalse ya que se propone hacerlo aguas arriba del mismo, pero el mal control si traerá consecuencias negativas.</p>	<p>El diseño y construcción de esta estructura de derivación representa una inversión muy elevada, esta inversión no es rentable, se ha calculado un presupuesto aproximado de 31 millones de dólares, cantidad que no justifica los beneficios que podríamos obtener con la construcción de esta obra. Esta alternativa es más económica que la construcción de un túnel de derivación.</p>
<p>Las condiciones climatológicas son favorables para la construcción del mismo, pero la influencia e importancia de este factor es mínimo en comparación con los demás aspectos a analizar.</p> <p>En cuanto al aspecto ambiental, la construcción del canal de generación no representa ningún peligro y no generará un impacto negativo al medio ambiente.</p>	<p>El terreno por el que pasaría la alternativa del canal de derivación es muy accidentado, presenta gran cantidad de quebradas lo que haría complicada su construcción, sería necesario realizar movimientos de tierra en exceso (excavaciones y voladuras), lo que incrementaría también el presupuesto.</p>

Nota: Comparativo de beneficios y perjuicios de la construcción de un canal. Elaboración propia, 2019.

4.5.1.3 El dragado como proyecto sustentable

Se define el dragado sustentable como la actividad de realizar un dragado del sedimento existente en el embalse y extraer del mismo algún material precioso, mineral o materia prima apta para la venta. Esta alternativa sería viable si la ganancia generada por la venta del material es mayor al costo de dragado.

Es decir, la actividad podría ser justificada de las siguientes maneras: que el material que se extraiga sea en poca o mediana cantidad volumétrica, pero su precio de mercado sea elevado, o que el material a extraer sea de mucho volumen y el precio de este sea medianamente elevado.

Siendo Gallito Ciego el tercer embalse de aguas con mayor capacidad del país que contribuye al desarrollo agrícola y a la generación de energía eléctrica, se ha visto afectado con la reducción de volumen útil de un volumen útil de 427 MMC a 366.60 MMC. Motivo por el

cual se plantea el dragado como alternativa de solución a la colmatación por sedimentación (PEJEZA, 2015).

Identificar a los interesados (stakeholders):

Debe enfatizarse la importancia de identificar a los mayores interesados en un proyecto y hacerlos partícipes del desarrollo del proyecto y del proceso de implementación lo más pronto posible. Identificar a todos los interesados es fundamental y el efecto de implicarlos en el proyecto podría marcar la diferencia entre tener un grupo de colaboradores o tener un grupo de organizaciones en oposición al proyecto (Bray & Cohen, 2010).

Por tal razón, los principales interesados son los que dependen de la demanda agrícola y poblacional de los valles Jequetepeque y Zaña que cuentan con un total aproximado de 42 mil hectáreas bajo riego continuo y consumo potable de aproximadamente 25 mil habitantes. (Ríos, 2013).

Asimismo, contar con la participación de los pobladores de Tembladera y de empresas cercanas, como la clausurada cantera de piedra caliza de cementos Pacasmayo, y la empresa administradora de la central hidroeléctrica, Statkraft.

De la excavación:

Durante el proceso de excavación será necesario realizar un estudio batimétrico de la zona a dragar para tener conocimiento de la topografía subacuática de los sedimentos; adicionalmente, se debe determinar las características geotécnicas y geológicas del material a dragar, es decir, el tipo de material a dragar. Las principales categorías asociadas con el dragado son: suelos de turba y orgánicos, arcillas, limos, arenas, gravas, bolos, cantos rodados, roca fracturada, roca y suelo cemento y corales. Dentro de cada una de estas grandes categorías hay variedad de características como el tamaño de las partículas, su naturaleza y su plasticidad.

El tipo de material determina el equipo de dragado más eficaz, las tarifas, los usos finales o colocación potenciales. Las características químicas y biológicas del material también son relevantes con el fin de determinar la existencia de metales en los sedimentos.

Investigación del sitio y caracterización del material dragado:

Para determinar el tipo de material que se pueda encontrar en un proyecto, se realizan exploraciones sub-superficiales, utilizando técnicas geofísicas, químicas y biológicas con las que se recoge un conjunto de muestras representativas a lo largo de las dimensiones potenciales, o reales del proyecto.

Como habitualmente existe una distribución vertical y horizontal de materiales, se suelen tomar muestras verticalmente hasta al menos un metro por debajo de las profundidades previstas en el proyecto. Estas muestras se someten a investigación posterior en un laboratorio para completar la caracterización inicial que se haya podido hacer tras las observaciones visuales habituales en el momento de su toma. Existen importantes riesgos cuando no se recogen datos de caracterización del suelo suficientes [...] (Kinlan, 2010, p. 25).

Específicamente, en el caso del embalse Gallito Ciego estudios realizados revelaron que el pH de los sedimentos era neutro a básico; con un contenido de cloruros poco variable y dentro de los rangos esperados; el contenido de carbonatos, calcio, magnesio, sodio, hierro, cinc y cobre se encuentran con mayor presencia en la zona de la represa. Cabe señalar que el contenido de cinc y cadmio superaran los estándares de calidad para sedimentos. Adicionalmente, los sedimentos no podrían ser usados como materia agrícola y orgánica debido a que el nivel de fósforo y nitrógeno Kjeldahl es bajo. Por otro lado, según el análisis granulométrico, se clasifican los sedimentos como arena limosa, lo cual es característico de este tipo de sistemas (Rios, 2013).

Las muestras obtenidas de 6 estaciones del embalse Gallito Ciego ubicadas en tembladera, La Huaca, Santa Catalina, Garita n°7 y Puente las Baras, permitieron determinar la granulometría del material sedimentado y los metales con los que cuenta.

Granulometría:

Tabla 15.

Resultados del análisis de granulometría de sedimentos. Porcentaje de arena, limo y arcilla.

Estación	Agosto 2011			Febrero 2012			Agosto 2012		
	Arena	Limo	Arcilla	Arena	Limo	Arcilla	Arena	Limo	Arcilla
S1	70.0±0.04	27.1±3.04	2.9±0.01	78±0.02	18.8±0.24	3.2±0.02	74.1±0.01	22.3±0.16	3.6±0.52
S2							61.7±0.10	35.6±0.54	2.7±0.06
S3				78.9±0.07	17.8±0.04	3.3±0.05	78.9±0.06	21.1±0.16	3.3±0.11
S4				56.2±0.01	39.6±0.58	4.2±0.06	69.7±0.06	26.8±4.01	3.5±0.63
S5	26.0±0.48	67.2±0.55	6.8±0.17	56.3±0.71	39.6±1.08	4.1±0.29	67.8±0.1	29.2±5.09	3.0±1.66
S6				51.0±0.14	43.4±0.96	5.6±2.51	66.6±0.07	30.4±2.04	3.0±0.26

Nota: Datos obtenidos del estudio de sedimentos del embalse Gallito Ciego. Adaptado de “Estudio químico de sedimentos de la represa Gallito Ciego como contribución al estudio de calidad ambiental del reservorio”, por Rios, 2013.

Los materiales con mayor presencia en los sedimentos depositados en el embalse son: Fe, Zn y Cobre (mg/kg).

Colocación del material dragado:

El último paso en el proceso de dragado, si el material no ha sido reciclado, éste se debe colocar en un punto distinto al lugar del que fue extraído.

Siempre que sea posible es deseable utilizar el material dragado para fines beneficiosos. Estos fines pueden ser la rápida creación de tierra para la construcción, utilizarlo como árido para construcción, crear hábitats de vida silvestre, construir elementos de protección de la costa, regeneración de playas, llenar minas abandonadas o excavaciones, o incluso, si el material es adecuado, utilizarlo como capa superior de suelos, entre otros. Cuando se utiliza para fines beneficiosos, normalmente hay un enfoque coste beneficio, reduciendo así los costes reales del dragado.

Si no es posible utilizar el material dragado, ya sea por su naturaleza, volumen, o porque está contaminado, se debería colocar de una manera que cree el mínimo daño ambiental posible, que sea rentable, y en un emplazamiento que pueda adquirirse razonablemente. En muchos casos, podría ser posible reciclar el material en el mismo sistema sedimentario del que fue extraído (Bray & Cohen, 2010).

Material extraído como recurso:

Los resultados del análisis granulométrico determinan que el material sedimentado tiene en su mayoría arena con un porcentaje de limos, esta composición puede ser vendida como agregado de construcción; por lo que, un potencial comprador sería la empresa Cementos

Pacasmayo debido a que posee una cantera en Tembladera, actualmente clausurada, pero se encuentra ubicada cerca del embalse.

Ingresos por dragado sustentable:

Teniendo en cuenta que el precio unitario de los siguientes minerales es: Fe= \$ 0,29 / kg , Zn= \$ 2,49 / kg, Cu= \$ 6,97/ kg, y con el porcentaje de mg de Fe, Zn y Cu por Kg de sedimentos que contiene embalse obtenemos los siguientes cálculos.

Tabla 16.

Ingresos por dragado sustentable.

Material	Densidad de sedimento (kg/m3)	Cantidad de sedimento (m3)	Total de sedimento (kg)	Presencia (mg/kg)	Cantidad (kg)	P.U	Parcial
Fierro	2.65	104000000	275600000	1966	541829600	0.29	\$ 157,130,584.00
Zinc	2.65	104000000	275600000	55.75	15364700	2.49	\$ 38,258,103.00
Cobre	2.65	104000000	275600000	5.33	1468948	6.97	\$ 10,238,567.56
							\$ 205,627,254.56

Nota: Cálculo de ingresos por la venta de los minerales obtenidos del material dragado. Elaboración propia, 2019.

Cabe resaltar que el costo de dragado por metro cúbico varía entre 6,25 a 7 dólares americanos; si hablamos de un total de 104 MMC, el monto asciende a 728'000,000 de dólares aproximadamente, comparado al pronóstico de venta metales extraídos que asciende a \$ 205'627,254.56 motivo por el cual el dragado no se convierte en proyecto sustentable para recuperar el volumen útil perdido, ya que el costo por dragar supera el precio de venta de la porción de metales extraídos del embalse (Comisión administradora del Río Uruguay [CARU], 2017).

4.5.1.4 Reforestación

- Proteger y preservar la vegetación natural de las cuencas y zonas ribereñas

La descarga y transporte de sedimentos por el flujo en el canal puede ser reducido por la reforestación de las cuencas y el mantenimiento de una amplia franja de vegetación ribereña, ya sea hierba o bosque. Se debe realizar principalmente en las zonas propensas a erosión. Adicionalmente, evitar las actividades que alteren la estabilidad natural de los cauces y zona adyacente al río.

Los suelos inalterados o en estado natural son altamente susceptibles a la erosión por el impacto de lluvias y flujos, se pueden proteger poniendo vegetación (Morris & Fan,

1998). Una buena cubierta con vegetación provee la mejor, durable y más barata protección en contra de la erosión mediante el aislamiento del suelo al contacto directo con la lluvia, infiltraciones, entre otros fenómenos. Incluso, una cubierta por áreas puede reducir drásticamente el porcentaje de erosión.

Para está alternativa se propondrá reforestar las zonas cercanas a las quebradas, áreas del suelo más propensas a erosión, teniendo en cuenta además que estas zonas no sean áreas de cultivo. La siguiente imagen muestra las áreas propuestas a reforestar:

Figura 39. Proyección de áreas a reforestar.

Elaboración propia, 2019.

La sumatoria de todas las áreas sombreadas en la figura 40 tiene una extensión de 1395 Has.

Tabla 17.

Sumatoria de áreas propuestas para reforestar.

Metrado Areas a Reforestar	
Area 1	7.29 km2
Area 2	0.75 km2
Area 3	1.59 km2
Area 4	3.35 km2
Area 5	0.62 km2
Area 6	0.35 km2
	1395.00 ha

Nota: Total de áreas cerca a la ribera para ser reforestadas. Elaboración propia, 2019.

Evaluación económica:

Tabla 18.
Resumen presupuesto de reforestación.

DATOS DEL PROYECTO				
PROYECTO:	REFORESTACION			
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	ha	S/.	P. PARCIAL S/.
1.00	OBRAS DE REFORESTACION	1,395.00	5,131.00	S/. 7,157,745.00
2.00	SALUD Y SEGURIDAD INDUSTRIAL			S/. 12,166.00
	COSTO DIRECTO			S/. 7,169,911.00
3.00	GASTOS GENERALES DE OBRA		5.00%	S/. 358,495.55
4.00	ADMINISTRACION DE OBRA (9%)		9.00%	S/. 645,291.99
	COSTO INDIRECTO		14.00%	S/. 1,003,787.54
				S/.
	SUBTOTAL			S/. 8,173,698.54
	I.G.V.		18.00%	S/. 1,471,265.74
	TOTAL OBRA (S/.)			S/. 9,644,964.28

Nota: Presupuesto que incluye todas las partidas involucradas en la obra de reforestación. Elaboración propia, 2019.

Teniendo en cuenta un tipo de cambio de 3.35 soles/dólar americano, el presupuesto por reforestación asciende a \$ 2'900,000.00 aproximadamente. Las partidas desgregadas del presupuesto son presentadas en el ANEXO N° 2 de la presente tesis.

Adicionalmente, al poner en marcha esta alternativa se estaría disminuyendo la emisión de gases en el ambiente y contribuir a reducir el efecto invernadero. De acuerdo a lo establecido en el Protocolo de Kioto, este proyecto recibiría bonos de carbono debido a que estaría contribuyendo a la mejora de la calidad ambiental en la zona, creándose un mecanismo de desarrollo limpio (MDL). El incentivo económico que se ofrece a los bonos de carbono oscila entre \$ 10 000 y \$ 20 000 dependiendo del proyecto. Dichos bonos permitirían el parcial financiamiento para reforestar las zonas indicadas, por lo cual el proyecto sería sustentable (Reforesta Perú, 2014).

4.5.1.5 Sobreelevación de la cresta del vertedero

En este caso para dar solución a la pérdida de volumen útil en el embalse Gallito Ciego se plantea la alternativa de sobre elevar la cresta del vertedero de demasías.

Se estima poder disponer de un volumen de aproximadamente 15 MMC por cada metro que la cresta del vertedero pueda elevarse (PEJEZA, 2016).

Esta alternativa se daría mediante encimado de concreto, ataguías o compuertas.

Repasamos las características del embalse:

– Elevación de la corona	413,00 m s.n.m.
– Nivel Normal de Embalse (Labio vertedero)	404,00 m s.n.m.
– Nivel de Aguas Máx. Extraordinario NAME (Avenida de 2000 años, $Q = 1\,630\text{ m}^3/\text{s}$)	410,30 m s.n.m.
– Nivel de Agua Avenida Fenómeno El Niño 1998 - $Q = 525\text{ m}^3/\text{s}$	406,90 m s.n.m.
– Nivel de Aguas Mínimas – NAMI	361,00 m s.n.m.

Adicionalmente, para el planteamiento de esta alternativa se debe realizar una verificación del borde libre, para prevención de riesgos y daños en el embalse

El resguardo es la distancia vertical entre la coronación y el nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME); nos referimos al nivel del embalse cuando el vertedor trabaja a su capacidad máxima.

Según el estudio geológico, no hay en los alrededores zonas inestables ni peligro de eventos geodinámicos, por consiguiente pueden descartarse los deslizamientos como causa de la generación de oleaje. Por otro lado, se tiene que la ola por sismo casi en la generalidad de los casos resulta menor que la ocasionada por viento, por consiguiente, el borde libre se estima a partir de este último fenómeno atmosférico.

La presa fue construida con un borde libre de 2,70 m de altura (Elevación de la corona 413 m s.n.m. menos Elevación de la Avenida de diseño 2000 años 410,30 m s.n.m. = 2,70 m) (PEJEZA, 2016).

Desconociéndose los criterios adoptados en el diseño original para determinar esta dimensión, se ha calculado la altura de ola aplicando el criterio de Sverdrup-Munk-Bretschneider según recomendación de la U.S. Army Coastal Engineers Research Center, cuya expresión es:

$$\frac{gh}{v^2} = 0,283 t g h \left[0,0125 \left(\frac{g F_{\epsilon}}{v^2} \right)^{0,42} \right]$$

Donde:

h: Altura de la ola (pies)

t: Periodo (seg)

v: Velocidad del viento (pies/seg)

F: Longitud de alcance (pies)

Esta información es recopilada del estudio realizado en conjunto por la empresa ATA y el PEJEZA.

Figura 40. Esquema de elevaciones de la presa Gallito Ciego.

Adaptado de “Estudio de la pre-factibilidad – protección del embalse Gallito Ciego de la colmatación por acarreos”, por PEJEZA, 2016.

Se aprecia que elevando el nivel del vertedero (cota 404 m.s.n.m.) en 3.00 m (altura de la clapeta) no afecta a la estructura de la presa, ya que la altura del vertedero sumada a la altura de la clapeta llegaría a la cota 407 m.s.n.m, la cual se encuentra por debajo del borde libre ante oleajes. La cota 410 m.s.n.m. es la elevación de la avenida de diseño para 2000 años con la cual se diseñó el borde libre.

4.5.1.6 Implementación del sistema de clapetas

La ubicación del sistema de clapetas debería ser en la cresta del vertedero, en la cota 404 m.s.n.m. La altura propuesta de esta estructura es de 3 metros, es decir que al estar activadas se llegaría a la cota de 407 m.s.n.m., si nos basamos en el estudio presentado en la alternativa anterior, es posible recuperar aproximadamente 15 MMC por metro de encimamiento.

La principal ventaja de la utilización de este sistema, a diferencia de implementar una estructura rígida, es poder ser capaces de controlar el momento en el que se debe retener el agua y el momento en el que se debe liberar el caudal, durante los meses de junio a diciembre (periodo de estiaje), y durante los meses de enero a mayo respectivamente (periodo de máximas avenidas) sin poner en riesgo la estructura propia del embalse.

Se propone la instalación de un sistema integrado de 12 compuertas clapeta de 5m de base y 3m de altura, el material del cual están fabricadas es de acero inoxidable (inox grado 316).

- Escenario sin clapetas

Figura 41. Escenario sin clapetas de tipo fusible.

Elaboración propia, 2019.

- Escenario con clapetas

Figura 42. Escenario con clapetas de tipo fusible.

Elaboración propia, 2019.

En cuanto a la recuperación del volumen perdido, así como se ha indicado, el embalse Gallito Ciego dispone de un espacio de volúmenes de retención y laminación de avenidas ubicado por encima del nivel 404,00 m s.n.m., actualmente del volumen de 94,10 MMC que se mantiene invariable desde que Embalse inició su operación en el año 1987, es decir no se encuentra afectado por colmatación, tanto por sólidos en suspensión, como por acarreos (PEJEZA, 2016).

Referente al uso y operación del espacio para la retención y laminación de avenidas, de los análisis hidrológicos que se han llevado a cabo anteriormente se conoce lo siguiente:

- Que la capacidad del cauce del río Jequetepeque aguas abajo de la Represa Gallito Ciego y de las correspondientes defensas contra inundaciones de las áreas ribereñas del Valle Jequetepeque, asciende a $400 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Que, en el espacio de retención y laminación de las avenidas, conforme con la capacidad hidráulica de las instalaciones de servicio y de descarga de aguas excedentes, todos los caudales máximos de ingreso menores de $965 \text{ m}^3/\text{s}$, se laminan a la descarga máxima de salida menor de $400 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Que los caudales máximos anuales generalmente ocurren durante la temporada de intensas lluvias y mayores avenidas, entre los meses de febrero y abril, y por ende las descargas máximas de estos meses son iguales a las máximas anuales para los mismos períodos de retorno;
- Lo que se refiere al mes de abril, es necesario considerar que normalmente las precipitaciones decrecen en su segunda quincena, lo que tiene como consecuencia la reducción del riesgo de la ocurrencia de las avenidas con los caudales máximos anuales; y
- Que a partir de la segunda quincena de abril y fines de junio el río Jequetepeque dispone de un exceso hídrico entre 0,00 a 456 MMC (PEJEZA, 2016).

Asimismo, considerando que el riesgo de ocurrencia de máximas avenidas en la segunda quincena del mes de abril, parte del espacio del embalse exclusivamente dedicado para laminación y retención de avenidas, entre los niveles 404,00 y 407,00 m.s.n.m. un volumen actual de 43,80 MMC, se pueda aprovechar para la regulación adicional de aguas excedentes

disponibles a partir de la segunda quincena de abril y de este modo parcialmente recuperar el volumen operativo del Embalse perdido por la colmatación.

Figura 43. Aportes del río Jequetepeque al embalse Gallito Ciego.

Fuente: Statkraft, 2017.

El diseño ingenieril que proponemos es elaborado por la empresa Orbinox, es así como se aprecian luego de su instalación:

Figura 44. Compuertas de Orbinox.

Adaptado de Orbinox, 2018. Recuperado de <http://www.orbinox.com/clapetas-fusibles> [Consulta: 30 de octubre de 2018].

Figura 45. Estructuración de clapetas

Adaptado de Orbinox, 2018. Recuperado de <http://www.orbinox.com/clapetas-fusibles> [Consulta: 30 de octubre de 2018].

COMBINACIONES POSIBLES DE MATERIALES	
1. Tablero:	S275JR
2. Brazos:	S275JR
3. Cilindro hidráulico:	Acero con vástago en AISI 420
4. Eje rótula:	AISI 431
5. Partes fijas inferiores:	S275JR
6. Asiento inferior:	AISI 304
7. Junta inferior:	EPDM
8. Partes fijas laterales:	S275JR
9. Asiento lateral:	AISI 304
10. Junta lateral:	EPDM

Se reserva el derecho de modificar los datos en cualquier momento según su criterio y sin aviso previo

ORBINOX S.A. Pol. Ind. s/n - 20270 ANOETA - Tel.: +34 943 698030 - Fax: +34 943 653066 - e-mail: orbinox@orbinox.com

ORBINOX CANADA, ORBINOX USA, ORBINOX BRASIL, ORBINOX COMERCIAL, ORBINOX UK, ORBINOX FRANCE, ORBINOX GERMANY, ORBINOX INDIA, ORBINOX CHINA, ORBINOX S.E.A.

www.orbinox.com

OBX 10/10 | 1ª EDICIÓN | 1ª REVISIÓN | CT-3

Figura 46. Composición de materiales de clapetas.

Adaptado de Orbinox, 2018. Recuperado de <http://www.orbinox.com/clapetas-fusibles> [Consulta: 30 de octubre de 2018].

Las clapetas serían adaptadas en la altura correspondiente de la cresta del vertedero (cota 404 m.s.n.m) hasta los 3 metros adicionales (407 m.s.n.m).

Se adjuntan planos esquematizando la propuesta en el ANEXO N°4.

Con la utilización de las clapetas en el embalse podrá ser posible captar y utilizar un volumen útil aproximado 45 MMC.

La instalación de este sistema tiene un costo global de instalación, capacitación y flete de 1' 588,833.37 dólares, datos obtenidos de la cotización de la empresa ORBINOX (VER ANEXO N°3).

4.6 Elección y fundamentación de la alternativa

Para la selección de la mejor alternativa desde el punto de vista económico se presenta los costos de las alternativas estudiadas:

Tabla 19.

Comparativo económico de alternativas.

ALTERNATIVA	COSTO
CANAL DE DERIVACIÓN	\$ 31'043,653.06
DRAGADO SUSTENTABLE	\$ 522'372,746.00
REFORESTACIÓN	\$ 2'879,093.81
CLAPETAS	\$ 1'588,833.37

Nota: Resumen del costo de la implementación de cada alternativa. Elaboración propia, 2019.

Luego de haber evaluado todas las alternativas correspondientes desde el punto de vista técnico, eficiente y económico, es posible afirmar que las alternativas más económicas son la implementación del sistema de clapetas abatibles en la cresta del vertedero en conjunto con la propuesta de reforestación de las cuencas del río Jequetepeque.

Por otro lado, es de suma importancia recalcar que definitivamente seguirá existiendo el proceso natural de colmatación en el embalse; cada año se sumará cierta cantidad de sedimentos en la cola del embalse hasta que el volumen de sedimentos alcance el volumen recuperado, motivo por el cual se calculará a continuación cuantos años de vida se le podrá adicionar al embalse con la implementación de esta posible solución a la colmatación.

Como primer paso calcularemos, mediante una curva de duración, la disponibilidad de agua en el río Jequetepeque utilizando las tablas de caudal medio mensual.

Tabla 20.

Caudal medio mensual del río Jequetepeque 1942 – 2016.

CAUDAL MEDIO MENSUAL DEL RIO JEQUETEPEQUE														
PERIODO : 1942 - 2016														
DESCARGA MEDIA MENSUAL (m3/s)														
N°	AÑO	MES												MEDIA ANUAL
		AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	
1	1942-43	3.60	2.59	2.69	3.32	2.39	5.90	77.09	98.01	100.62	36.10	13.89	6.38	29.38
2	1943-44	3.58	2.58	8.51	7.72	16.02	11.20	78.50	130.30	40.08	18.11	6.91	4.82	27.36
3	1944-45	3.51	3.01	3.51	1.39	5.90	19.12	82.01	103.01	63.50	17.88	5.90	4.52	26.10
4	1945-46	3.51	2.70	2.69	8.41	12.40	48.98	65.10	62.31	42.90	18.71	9.10	4.59	23.45
5	1946-47	2.61	1.50	5.19	9.41	7.92	9.41	30.38	29.68	52.89	42.90	12.38	6.98	17.61
6	1947-48	4.82	6.29	19.41	30.21	30.09	82.40	41.91	53.20	56.48	22.10	12.38	6.31	30.47
7	1948-49	3.88	3.51	21.80	26.20	6.98	4.41	56.09	157.41	130.21	24.72	11.50	7.80	37.88
8	1949-50	4.59	3.09	4.29	6.98	1.38	1.90	21.49	50.10	51.58	18.11	7.21	5.19	14.66
9	1950-51	2.91	2.01	2.99	6.21	16.61	16.95	31.00	32.41	27.01	12.10	5.29	3.21	13.22
10	1951-52	1.79	1.58	2.61	14.00	20.91	46.18	37.91	90.69	99.19	23.48	10.92	5.79	29.59
11	1952-53	3.88	2.82	2.31	1.00	9.00	51.30	220.11	236.19	200.39	32.59	15.08	7.62	65.19
12	1953-54	4.59	5.09	9.18	23.42	28.60	33.71	38.48	74.78	26.12	21.51	7.10	4.41	23.08
13	1954-55	2.91	2.08	11.39	22.18	4.89	28.60	67.92	73.10	43.02	25.09	14.70	6.31	25.18
14	1955-56	4.18	4.59	3.40	3.40	8.81	16.80	68.62	126.01	78.01	20.98	6.71	6.01	28.96
15	1956-57	3.81	3.01	16.32	8.10	2.80	9.11	37.41	131.50	118.40	47.01	21.91	7.92	33.94
16	1957-58	5.41	5.29	3.99	10.80	11.39	38.08	30.59	81.21	52.20	32.89	14.58	6.20	24.39
17	1958-59	4.52	2.89	5.11	1.89	1.90	2.39	23.52	93.12	73.42	45.10	13.31	6.31	22.79
18	1959-60	3.88	2.58	4.89	9.10	23.48	20.01	50.72	72.51	58.91	28.11	9.68	4.89	24.07
19	1960-61	3.21	3.09	3.10	5.40	7.99	31.40	36.71	55.41	47.61	23.89	11.07	3.81	19.39
20	1961-62	1.79	1.58	1.08	1.50	6.31	34.31	71.10	103.01	87.50	27.59	10.92	4.29	29.25
21	1962-63	2.91	2.08	1.61	2.08	0.78	1.31	5.08	79.19	69.98	18.89	6.21	3.21	16.11
22	1963-64	2.91	1.31	2.20	7.72	21.80	33.79	41.09	49.99	76.31	27.11	8.72	4.82	23.15
23	1964-65	4.41	3.51	7.21	21.91	5.41	6.38	11.41	121.90	91.71	30.91	9.41	5.11	26.61
24	1965-66	2.80	3.51	12.81	23.42	9.00	47.12	23.40	24.38	22.61	17.88	6.48	3.10	16.37
25	1966-67	1.90	1.39	10.12	9.30	3.81	34.09	125.70	111.30	36.38	18.29	9.10	5.60	30.58
26	1967-68	3.21	2.08	7.09	4.71	2.50	2.99	7.40	24.08	11.30	4.70	2.70	1.49	6.19
27	1968-69	0.78	1.70	11.31	6.91	3.99	9.11	26.91	48.50	75.81	12.69	7.48	2.39	17.30
28	1969-70	1.31	0.81	2.20	9.80	33.19	40.70	20.50	39.31	33.22	37.90	11.30	4.41	19.55
29	1970-71	2.39	2.89	10.19	20.49	29.79	18.41	30.92	148.11	133.91	29.68	13.62	7.50	37.33
30	1971-72	5.90	5.02	15.61	15.59	19.71	28.90	28.40	136.98	77.31	27.29	13.12	6.20	31.67
31	1972-73	4.52	3.70	3.58	4.28	12.69	47.19	36.09	86.10	166.78	49.40	18.29	10.72	36.94
32	1973-74	7.09	13.50	23.30	29.90	26.51	44.50	83.79	75.08	29.40	14.41	9.10	4.89	30.12
33	1974-75	2.61	2.89	12.69	7.79	9.60	20.20	59.48	129.29	102.89	33.79	17.28	8.36	33.91
34	1975-76	5.00	6.60	23.30	17.59	7.21	29.61	61.88	85.69	49.81	24.42	13.31	4.41	27.40
35	1976-77	2.80	1.81	1.38	1.81	2.31	29.68	121.40	73.59	59.18	23.00	11.50	4.89	27.78
36	1977-78	2.20	2.31	2.91	6.10	12.51	5.90	8.31	10.42	20.29	21.39	7.21	2.80	8.53
37	1978-79	1.38	1.31	1.08	3.59	6.09	11.31	26.41	123.92	29.59	13.22	6.21	2.50	18.88
38	1979-80	1.49	3.09	1.31	0.69	0.49	1.01	3.80	8.59	12.00	3.29	2.08	0.41	3.19
39	1980-81	0.00	0.00	5.56	15.51	32.11	10.60	103.51	97.41	26.20	11.61	7.21	3.51	26.10
40	1981-82	1.38	1.39	6.61	15.70	20.68	12.81	29.72	20.39	33.22	16.91	7.91	3.29	14.17
41	1982-83	1.31	1.39	13.40	17.21	53.91	85.39	49.69	174.21	152.51	81.39	27.58	12.51	55.87
42	1983-84	5.79	6.10	8.10	6.71	27.52	15.79	188.29	173.01	67.79	65.79	23.19	13.10	50.10
43	1984-85	5.11	4.40	18.11	8.80	19.00	11.01	17.98	23.71	15.01	8.70	4.78	2.39	11.58
44	1985-86	1.31	1.58	2.50	1.31	8.59	22.89	25.30	20.39	68.71	21.09	6.71	2.80	15.26
45	1986-87	1.19	1.12	1.49	7.21	8.21	57.20	57.42	30.69	20.60	18.82	5.09	2.20	17.60
46	1987-88	2.09	0.89	4.33	6.29	8.81	25.99	53.20	29.08	39.12	18.44	8.02	2.43	16.56
47	1988-89	0.67	0.69	4.07	14.16	9.33	36.66	109.71	101.29	87.58	23.93	9.07	4.82	33.50
48	1989-90	2.24	3.55	20.95	13.50	4.14	5.97	18.35	15.53	14.35	10.45	5.25	2.20	9.71
49	1990-91	0.37	1.12	10.30	16.98	17.36	5.68	9.71	50.52	28.36	19.38	4.98	1.72	13.87
50	1991-92	0.41	0.35	1.08	2.20	5.04	14.64	7.44	20.53	42.32	16.91	7.64	1.64	10.02
51	1992-93	0.41	1.16	5.30	6.40	3.88	3.85	50.39	166.55	113.00	33.71	11.88	4.82	33.45
52	1993-94	2.02	2.70	16.69	35.49	28.15	69.89	83.91	119.77	115.93	35.80	16.36	15.57	45.19
53	1994-95	2.39	3.09	3.73	6.60	11.01	9.07	47.41	43.72	41.47	14.41	5.83	3.25	16.00
54	1995-96	1.68	1.31	2.50	13.53	18.25	39.14	73.63	116.47	66.51	18.99	8.90	3.48	30.37
55	1996-97	1.39	1.72	6.35	5.94	2.69	3.43	27.24	19.30	15.51	11.28	4.24	1.46	8.38
56	1997-98	0.37	0.46	2.69	16.44	72.66	115.33	230.24	321.46	173.61	63.32	21.64	10.23	85.70
57	1998-99	5.75	4.36	7.40	12.54	4.93	15.36	164.83	110.07	63.45	49.78	23.34	14.56	39.70
58	1999-2000	4.14	10.97	16.46	9.57	31.94	13.24	75.66	163.46	87.36	65.07	24.54	9.64	42.67
59	2000-2001	4.27	4.75	4.41	2.04	20.39	88.94	82.72	237.64	127.75	40.48	21.82	10.03	53.77
60	2001-2002	5.00	7.31	5.52	21.49	23.97	16.77	40.64	154.26	130.02	29.41	13.80	5.50	37.81
61	2002-2003	2.73	2.47	8.71	26.89	52.36	32.96	49.54	50.81	48.01	22.05	10.83	3.98	25.94
62	2003-2004	1.37	1.21	1.80	6.09	8.40	7.54	29.22	33.74	31.84	11.70	4.58	1.84	11.61
63	2004-2005	0.53	1.08	5.28	21.46	34.43	27.21	21.74	99.19	47.72	14.74	4.62	2.03	23.34
64	2005-2006	0.75	0.72	6.02	5.88	11.35	14.49	67.36	216.37	113.86	19.93	11.41	4.43	39.38
65	2006-2007	2.84	2.82	2.13	7.48	28.24	37.69	31.14	98.55	90.37	26.79	8.56	3.92	28.38
66	2007-2008	2.44	1.90	5.11	19.94	8.89	48.73	123.47	134.05	118.46	41.07	16.72	6.72	43.96
67	2008-2009	4.74	5.24	14.54	25.87	11.39	56.13	133.42	163.98	92.97	38.89	16.50	8.81	47.71
68	2009-2010	4.79	3.23	6.16	18.48	48.98	21.33	54.60	65.09	80.87	36.35	10.53	6.41	29.73
69	2010-2011	2.68	2.51	3.13	6.28	8.12	21.47	41.41	33.56	98.29	23.21	7.08	4.22	21.00
70	2011-2012	2.50	2.48	3.48	6.10	21.08	70.62	142.06	90.58	76.63	41.42	13.26	6.89	39.76
71	2012-2013	3.95	2.84	7.72	25.10	13.75	21.23	41.60	152.82	63.06	29.22	18.07	6.04	32.12
72	2013-2014	2.65	1.63	6.51	5.57	15.01	17.61	19.82	88.41	27.11	34.55	8.99	3.42	19.28
73	2014-2015	1.62	1.95	3.39	7.43	9.54	35.32	39.51	151.98	88.91	28.82	12.19	4.67	32.11
74	2015-2016	2.02	1.26	1.90	9.31	10.10	9.99	51.00	64.01	47.15	12.29	5.49	2.07	18.05
MAXIMA		7.09	13.50	23.30	35.49	72.66	115.33	230.24	321.46	200.39	81.39	27.58	15.57	85.70
MEDIA		2.89	2.88	7.13	11.38	15.51	27.38	57.86	93.01	68.98	27.08	10.98	5.31	27.53
MINIMA		0.00	0.00	1.08	0.69	0.49	1.01	3.80	8.59	11.30	3.29	2.08	0.41	3.19

Tabla 21.
Masa mensual del río Jequetepeque 1942 – 2016.

MASA MENSUAL DEL RIO JEQUETEPEQUE													
PERIODO : 1942 - 2016													
MASA MEDIA MENSUAL (MMC) = MILLONES DE METROS CUBICOS													
Nº	AÑO	MES											
	HIDROLOGICO	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
1	1942-43	9.64	6.71	7.20	8.60	6.40	15.80	186.50	262.50	260.80	96.70	36.00	17.10
2	1943-44	9.60	6.70	22.80	20.00	42.90	30.00	189.90	349.00	103.90	48.50	17.90	12.90
3	1944-45	9.40	7.80	9.40	3.60	15.80	51.20	198.40	275.90	164.60	47.90	15.30	12.10
4	1945-46	9.40	7.00	7.20	21.80	33.20	131.20	157.50	166.90	111.20	50.10	23.60	12.30
5	1946-47	7.00	3.90	13.90	24.40	21.20	25.20	73.50	79.50	137.10	114.90	32.10	18.70
6	1947-48	12.90	16.30	52.00	78.30	80.60	220.70	101.40	142.50	146.40	59.20	32.10	16.90
7	1948-49	10.40	9.10	58.40	67.90	18.70	11.80	135.70	421.60	337.50	66.20	29.80	20.90
8	1949-50	12.30	8.00	11.50	18.10	3.70	5.10	52.00	134.20	133.70	48.50	18.70	13.90
9	1950-51	7.80	5.20	8.00	16.10	44.50	45.40	75.00	86.80	70.00	32.40	13.70	8.60
10	1951-52	4.80	4.10	7.00	36.30	56.00	123.70	91.70	242.90	257.10	62.90	28.30	15.50
11	1952-53	10.40	7.30	6.20	2.60	24.10	137.40	532.50	632.60	519.40	87.30	39.10	20.40
12	1953-54	12.30	13.20	24.60	60.70	76.60	90.30	93.10	200.30	67.70	57.60	18.40	11.80
13	1954-55	7.80	5.40	30.50	57.50	13.10	76.60	164.30	195.80	111.50	67.20	38.10	16.90
14	1955-56	11.20	11.90	9.10	8.80	23.60	45.00	166.00	337.50	202.20	56.20	17.40	16.10
15	1956-57	10.20	7.80	43.70	21.00	7.50	24.40	90.50	352.20	306.90	125.90	56.80	21.20
16	1957-58	14.50	13.70	10.70	28.00	30.50	102.00	74.00	217.50	135.30	88.10	37.80	16.60
17	1958-59	12.10	7.50	13.70	4.90	5.10	6.40	56.90	249.40	190.30	120.80	34.50	16.90
18	1959-60	10.40	6.70	13.10	23.60	62.90	53.60	122.70	194.20	152.70	75.30	25.10	13.10
19	1960-61	8.60	8.00	8.30	14.00	21.40	84.10	88.80	148.40	123.40	64.00	28.70	10.20
20	1961-62	4.80	4.10	2.90	3.90	16.90	91.90	172.00	275.90	226.80	73.90	28.30	11.50
21	1962-63	7.80	5.40	4.30	5.40	2.10	3.50	12.30	212.10	181.40	50.60	16.10	8.60
22	1963-64	7.80	3.40	5.90	20.00	58.40	90.50	99.40	133.90	197.80	72.60	22.60	12.90
23	1964-65	11.80	9.10	19.30	56.80	14.50	17.10	27.60	326.50	237.70	82.80	24.40	13.70
24	1965-66	7.50	9.10	34.30	60.70	24.10	126.20	56.60	65.30	58.60	47.90	16.80	8.30
25	1966-67	5.10	3.60	27.10	24.10	10.20	91.30	304.10	298.10	94.30	49.00	23.60	15.00
26	1967-68	8.60	5.40	19.00	12.20	6.70	8.00	17.90	64.50	29.30	12.60	7.00	4.00
27	1968-69	2.10	4.40	30.30	17.90	10.70	24.40	65.10	129.90	196.50	34.00	19.40	6.40
28	1969-70	3.50	2.10	5.90	25.40	88.90	109.00	49.60	105.30	86.10	101.50	29.30	11.80
29	1970-71	6.40	7.50	27.30	53.10	79.80	49.30	74.80	396.70	347.10	79.50	35.30	20.10
30	1971-72	15.80	13.00	41.80	40.40	52.80	77.40	68.70	366.90	200.40	73.10	34.00	16.60
31	1972-73	12.10	9.60	9.60	11.10	34.00	126.40	87.30	230.60	432.30	132.30	47.40	28.70
32	1973-74	19.00	35.00	62.40	77.50	71.00	119.20	202.70	201.10	76.20	38.60	23.60	13.10
33	1974-75	7.00	7.50	34.00	20.20	25.70	54.10	143.90	346.30	266.70	90.50	44.80	22.40
34	1975-76	13.40	17.10	62.40	45.60	19.30	79.30	149.70	229.50	129.10	65.40	34.50	11.80
35	1976-77	7.50	4.70	3.70	4.70	6.20	79.50	293.70	197.10	153.40	61.60	29.80	13.10
36	1977-78	5.90	6.00	7.80	15.80	33.50	15.80	20.10	27.90	52.60	57.30	18.70	7.50
37	1978-79	3.70	3.40	2.90	9.30	16.30	30.30	63.90	331.90	76.70	35.40	16.10	6.70
38	1979-80	4.00	8.00	3.50	1.80	1.30	2.70	9.20	23.00	31.10	8.80	5.40	1.10
39	1980-81	0.00	0.00	14.90	40.20	86.00	28.40	250.40	260.90	67.90	31.10	18.70	9.40
40	1981-82	3.70	3.60	17.70	40.70	55.40	34.30	71.90	54.60	86.10	45.30	20.50	8.80
41	1982-83	3.50	3.60	35.90	44.60	144.40	228.70	120.20	466.60	395.30	218.00	71.50	33.50
42	1983-84	15.50	15.80	21.70	17.40	73.70	42.30	455.50	463.40	175.70	176.20	60.10	35.10
43	1984-85	13.70	11.40	48.50	22.80	50.90	29.50	43.50	63.50	38.90	23.30	12.40	6.40
44	1985-86	3.50	4.10	6.70	3.40	23.00	61.30	61.20	54.60	178.10	56.50	17.40	7.50
45	1986-87	3.20	2.90	4.00	18.70	22.00	153.20	138.90	82.20	53.40	50.40	13.20	5.90
46	1987-88	5.60	2.30	11.60	16.30	23.60	69.60	128.70	77.90	101.40	49.40	20.80	6.50
47	1988-89	1.80	1.80	10.90	36.70	25.00	98.20	265.40	271.30	227.00	64.10	23.50	12.90
48	1989-90	6.00	9.20	56.10	35.00	11.10	16.00	44.40	41.60	37.20	28.00	13.60	5.90
49	1990-91	1.00	2.90	27.60	44.00	46.50	15.20	23.50	135.30	73.50	51.90	12.90	4.60
50	1991-92	1.10	0.90	2.90	5.70	13.50	39.20	18.00	55.00	109.70	45.30	19.80	4.40
51	1992-93	1.10	3.00	14.20	16.60	10.40	10.30	121.90	446.10	292.90	90.30	30.80	12.90
52	1993-94	5.40	7.00	44.70	92.00	75.40	187.20	203.00	320.80	300.50	95.90	42.40	41.70
53	1994-95	6.40	8.00	10.00	17.10	29.50	24.30	114.70	117.10	107.50	38.60	15.10	8.70
54	1995-96	4.50	3.40	6.70	35.08	48.87	104.84	178.13	311.95	172.40	50.87	23.08	9.33
55	1996-97	3.71	4.46	17.00	15.40	7.20	9.20	65.90	51.70	40.20	30.20	11.00	3.90
56	1997-98	1.00	1.20	7.20	42.60	194.60	308.90	557.00	861.00	450.00	169.60	56.10	27.40
57	1998-99	15.40	11.30	19.81	32.50	13.21	41.15	398.75	294.81	164.46	133.32	60.50	38.99
58	1999-2000	11.10	28.43	44.09	24.81	85.55	35.46	183.04	437.81	226.44	174.29	63.62	25.82
59	2000-2001	11.45	12.31	11.80	5.29	54.62	238.22	200.12	636.50	331.13	108.43	56.57	26.86
60	2001-2002	13.40	18.95	14.78	55.70	64.21	44.91	98.32	413.16	337.02	78.78	35.78	14.72
61	2002-2003	7.31	6.39	23.34	69.71	140.24	88.29	119.84	136.08	124.43	59.05	28.06	10.66
62	2003-2004	3.68	3.13	4.83	15.78	22.50	20.20	70.68	90.36	82.53	31.35	11.87	4.94
63	2004-2005	1.41	2.81	14.14	55.62	92.22	72.87	52.59	265.68	123.69	39.47	11.97	5.45
64	2005-2006	2.02	1.87	16.13	15.24	30.39	38.80	162.96	579.52	295.12	53.38	29.58	11.87
65	2006-2007	7.60	7.30	5.71	19.40	75.64	100.96	75.34	263.96	234.23	71.75	22.20	10.50
66	2007-2008	6.54	4.92	13.70	51.68	23.82	130.51	298.69	359.03	307.05	110.00	43.33	18.01
67	2008-2009	12.70	13.59	38.94	67.05	30.52	150.33	322.78	439.20	240.97	104.15	42.77	23.59
68	2009-2010	12.84	8.37	16.51	47.89	131.18	57.13	132.09	174.33	209.62	97.37	27.29	17.16
69	2010-2011	7.17	6.51	8.37	16.29	21.74	57.51	100.19	89.89	254.76	62.18	18.34	11.31
70	2011-2012	6.70	6.43	9.32	15.81	56.45	189.14	343.66	242.61	198.63	110.95	34.37	18.46
71	2012-2013	10.59	7.37	20.68	65.05	36.83	56.87	100.65	409.32	163.45	78.25	46.84	16.17
72	2013-2014	7.10	4.22	17.44	14.45	40.20	47.18	47.96	236.81	70.27	92.53	23.31	9.17
73	2014-2015	4.34	5.05	9.07	19.25	25.55	94.61	95.58	404.05	230.44	77.18	31.59	12.50
74	2015-2016	5.41	3.27	5.08	24.14	27.06	26.75	127.79	171.45	122.21	32.92	14.23	5.55
MAXIMA		19.00	35.00	62.40	92.00	194.60	308.90	557.00	861.00	519.40	218.00	71.50	41.70
MEDIA		7.73	7.47	19.10	29.49	41.53	73.34	140.03	249.09	178.78	72.53	28.45	14.22
MINIMA		0.00	0.00	2.90	1.80	1.30	2.70	9.20	23.00	29.30	8.80	5.40	1.10
FUENTE: JUSHJ - PEJEZA													

Nota: Histórico de la masa mensual que ingresa al río Jequetepeque. Adaptado de “Operación y mantenimiento de la presa Gallito Ciego”, por PEJEZA, 2017.

La tabla anterior muestra la masa mensual en MMC del río Jequetepeque entre los años 1942 y 2016 (julio), información que se usará para realizar una curva de persistencia con una probabilidad de ocurrencia al 95% de confianza, con la finalidad de demostrar que se puede suplir los 45 MMC de agua que se plantea recuperar al colocar el sistema de clapetas en la cresta del vertedero, teniendo en cuenta la altura de las clapetas es de 3 metros y por cada metro de altura es posible recuperar aproximadamente 15 MMC.

Figura 47. Curva de duración (Disponibilidad de agua en el río Jequetepeque).

Elaboración propia, 2019.

Como resultado de esta curva observamos que con un nivel de persistencia del 95% ingresarán al embalse 304.10 MMC en un año normalmente seco.

Figura 48. Clasificación de los años según la magnitud del aporte hídrico del río Jequetepeque 1942 – 2016.

Adaptado de “Operación y mantenimiento de la presa Gallito Ciego”, por PEJEZA, 2017.

Luego, tomando como referencia el histograma de la figura 49 que nos muestra los años húmedos, normales y secos, podemos identificar el promedio del histórico de ingreso de caudales igual a 861.76 MMC correspondiente a un año normalmente húmedo, 304.10 MMC un año normalmente seco; sin embargo, se identificó un valor atípico que corresponde un año muy seco donde solo ingresó 99.90 MMC.

Asimismo, con la curva de persistencia se podrá identificar con 95% de probabilidad un volumen de ingreso igual a 304.10 MMC correspondiente a un año seco. Con este año trabajaremos para identificar el volumen en épocas de máximas avenidas y épocas de estiaje para garantizar que podemos suplir los 45 MMC recuperables para el embalse.

Con el total estacional entre “enero – mayo” y “junio – diciembre” podemos observar que para el periodo de máximas avenidas se tiene un volumen medio de ingreso equivalente a 705.39 MMC, el cual es mayor a nuestra probabilidad ocurrencia (al 95% de confianza) garantizando el ingreso 304.10 MMC para un año seco. Con esta información se podrá identificar en qué meses se elevarán las capetas, supliendo la cantidad de volumen propuesto a recuperar en épocas de estiaje y lo meses de máximas avenidas donde las capetas serán abatidas, ya que la demanda de agua no será afectada en estos meses. (ANEXO N°5 y ANEXO N°6).

Con los valores máximos se presentará tres polígonos de frecuencia que permiten identificar, las épocas de máximas avenidas, para los escenarios de máximos, media y mínimos volúmenes en MMC y otro con el percentil al 95% de confianza.

Figura 49. Polígono de frecuencias volumen vs meses (mínimo, máximo y promedio).

Elaboración propia, 2019.

Figura 50. Polígono de frecuencias volumen vs meses (mínimo, máximo, al 95%).

Elaboración propia, 2019.

Con dicho grafico de volúmenes mensuales para un año seco (al 5% de significancia) tenemos la época de máximas avenidas (enero- mayo) que registra ingresos de 187.20 MMC, los cuales son mucho mayores al volumen que deseamos recuperar. Para esto plantemos colocar las clapetas a fines de marzo donde tenemos aún grandes volúmenes de agua que ingresa hasta mediados de mayo.

Figura 51. Polígono de frecuencias volumen vs meses al 95% de confianza.

Elaboración propia, 2019.

Tabla 22.

Recuperación de volumen útil acumulado en periodos de máximas avenidas.

1989-90	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
	6.00	9.20	56.10	35.00	11.10	16.00	44.40	41.60	37.20	28.00	13.60	5.90
Vol. diario MMC						0.53	1.48	1.39	1.24	0.93		
Recuperar								13.87	37.20	14.00		
Acumulado										51.07	65.07	

Nota: Volumen de agua en periodos de máximas avenidas. Elaboración propia, 2019.

Teniendo el uso de las clapetas como instalaciones permanentes, se pretende demostrar con la tabla N° 22, que elevando las clapetas 10 días antes que termine el mes de marzo y en función del pronóstico hidrológico que se tenga durante la operación del embalse mantenerlas habilitadas durante el mes de abril supliendo los 45 MMC que planteamos recuperar. Asimismo, también se consideró otro escenario donde se aumentó la mitad del mes de mayo para garantizar una mayor probabilidad que se llene los 45 MMC con las clapetas. Estos cálculos se realizaron teniendo un nivel de confianza al 95% para un año seco.

Analizamos también los datos históricos de descarga de sólidos durante el periodo de 1943 al 2003, tabla que presentamos a continuación:

Tabla 23.

Evaluación de masas anuales de descarga total de sólidos.

EMBALSE GALLITO CIEGO								
RIO JEQUETEPEQUE								
EVALUACION DE MASAS ANUALES DE DESCARGA TOTAL DE SOLIDOS								
RANGO	AÑO	PERIODO DE 1943/44 A 2002/03						
		ESCORRENTIA (MMC)	SOLIDOS EN SUSPENSIÓN (1000Tn) (MMC)	ACARREO (MMC)	TOTAL ANUAL (MMC)	ACUMULADO (MMC)	MEDIA MOVIL	TIPO DEL AÑO
01	1943/44	855.10	1,826.93	1.35	0.82	2.17	1.35	2.17
02	1944/45	813.90	1,253.57	0.93	0.76	1.69	3.04	1.93
03	1945/46	725.90	518.09	0.38	0.66	1.04	4.09	1.64
04	1946/47	569.70	238.18	0.18	0.51	0.69	4.77	1.40
05	1947/48	949.60	779.45	0.58	0.88	1.46	6.23	1.41
06	1948/49	1,188.70	4,128.65	3.06	1.20	4.26	10.49	1.88
07	1949/50	452.50	226.50	0.17	0.40	0.57	11.06	1.70
08	1950/51	409.60	96.41	0.07	0.35	0.42	11.48	1.54
09	1951/52	954.20	1,399.98	1.04	0.91	1.95	13.42	1.58
10	1952/53	2,027.50	25,570.30	18.94	2.27	21.21	34.63	3.55
11	1953/54	714.60	454.13	0.34	0.65	0.99	35.62	3.31
12	1954/55	794.60	590.11	0.44	0.71	1.15	36.77	3.13
13	1955/56	899.80	1,865.33	1.38	0.89	2.27	39.04	3.07
14	1956/57	1,078.20	2,699.45	2.00	1.02	3.02	42.06	3.06
15	1957/58	760.80	608.53	0.45	0.69	1.14	43.20	2.93
16	1958/59	716.00	921.94	0.68	0.66	1.34	44.54	2.84
17	1959/60	755.50	566.36	0.42	0.70	1.12	45.66	2.73
18	1960/61	600.10	304.53	0.23	0.53	0.76	46.42	2.62
19	1961/62	917.20	1,445.41	1.07	0.85	1.92	48.34	2.59
20	1962/63	507.70	598.80	0.44	0.46	0.90	49.24	2.50
21	1963/64	734.80	518.28	0.38	0.67	1.05	50.30	2.43
22	1964/65	823.40	1,689.34	1.25	0.75	2.00	52.30	2.41
23	1965/66	505.50	157.15	0.12	0.43	0.55	52.84	2.33
24	1966/67	949.30	2,026.55	1.50	1.03	2.53	55.38	2.34
25	1967/68	186.70	15.78	0.01	0.18	0.19	55.57	2.26
26	1968/69	540.10	1,994.70	1.48	0.50	1.98	57.54	2.24
27	1969/70	626.70	406.84	0.30	0.58	0.88	58.43	2.19
28	1970/71	1,191.80	5,233.15	3.88	1.12	5.00	63.42	2.29
29	1971/72	993.70	2,024.73	1.50	0.94	2.44	65.86	2.30
30	1972/73	1,193.60	4,162.40	3.08	1.14	4.22	70.09	2.36
31	1973/74	906.34	935.48	0.69	0.86	1.55	71.64	2.34
32	1974/75	1,081.20	3,628.69	2.69	1.03	3.72	75.36	2.38
33	1975/76	839.00	461.01	0.34	0.75	1.09	76.45	2.34
34	1976/77	852.80	1,130.54	0.84	0.79	1.63	78.08	2.32
35	1977/78	262.00	40.54	0.03	0.25	0.28	78.36	2.26
36	1978/79	607.40	895.13	0.66	0.59	1.25	79.61	2.23
37	1979/80	84.00	76.58	0.06	0.07	0.13	79.74	2.18
38	1980/81	816.60	1,928.02	1.43	0.80	2.23	81.97	2.18
39	1981/82	444.80	115.64	0.09	0.40	0.49	82.45	2.14
40	1982/83	1,880.80	13,000.02	9.63	1.90	11.53	93.98	2.37
41	1983/84	1,548.00	6,411.17	4.75	1.52	6.27	100.25	2.47
42	1984/85	343.20	99.19	0.07	0.29	0.36	100.61	2.42
43	1985/86	500.30	312.81	0.23	0.48	0.71	101.32	2.38
44	1986/87	550.20	708.71	0.52	0.53	1.05	102.38	2.35
45	1987/88	509.40	160.28	0.12	0.47	0.59	102.97	2.31
46	1988/89	1,069.30	1,753.94	1.30	1.07	2.37	105.34	2.31
47	1989/90	292.80	84.15	0.06	0.25	0.31	105.65	2.27
48	1990/91	437.00	487.92	0.36	0.38	0.74	106.39	2.23
49	1991/92	317.60	787.06	0.58	0.29	0.87	107.26	2.21
50	1992/93	1,058.80	4,943.06	3.66	1.01	4.67	111.94	2.26
51	1993/94	1,416.00	2,391.03	1.77	1.34	3.11	115.05	2.27
52	1994/95	490.00	266.95	0.20	0.45	0.65	115.69	2.24
53	1995/96	949.50	1,677.44	1.24	0.89	2.13	117.83	2.24
54	1996/97	253.80	84.34	0.06	0.24	0.30	118.13	2.20
55	1997/98	2,701.20	35,027.97	25.95	2.76	28.71	146.84	2.68
56	1998/99	1,237.10	4,883.29	3.62	1.18	4.80	151.63	2.72
57	1999/00	1,324.70	3,553.48	2.63	1.25	3.88	155.52	2.74
58	2000/01	1,703.90	7,265.85	5.38	1.68	7.06	162.58	2.82
59	2001/02	1,171.20	2,225.15	1.65	1.12	2.77	165.35	2.82
60	2002/03	806.60	207.98	0.15	0.71	0.86	166.21	2.78
	MAXIMO:	2,701.20	35,027.97	25.95	2.76	28.71		
	PROMEDIO:	848.21	2,664.42	1.97	0.81	2.78	PROMEDIO	
	MINIMO:	84.00	15.78	0.01	0.07	0.13	ANUAL	
	TOTAL DE LA SERIE (Tn):		118.42	48.61	167.03	2.78		

Nota: Histórico de masas totales (acarreo y suspensión). Adaptado de “Operación y mantenimiento de la presa Gallito Ciego”, por PEJEZA, 2017.

Se presenta la relación de volumen de escorrentía vs sedimentos de tabla N° 23, sin considerar los valores atípicos (fenómenos del niño).

Figura 52. Relación volumen de escorrentía Ql vs sedimentos Qs (MMC).

Elaboración propia, 2019.

Se presenta la relación de volumen de escorrentía vs sedimentos de tabla N° 23, considerando los valores atípicos (fenómenos del niño).

Figura 53. Relación volumen de escorrentía Ql vs sedimentos Qs (MMC) Valores atípicos.

Elaboración propia, 2019.

Con los presentes gráficos podemos apreciar el comportamiento de los sólidos retenidos en el embalse con el histórico de datos desde el año 1943 hasta el año 2003, en el cual claramente se puede identificar que durante años húmedos (por encima de los 1100 MMC) el nivel de retención es mayor a los 2.8 MMC hasta 28MMC que se registró en el año de ocurrencia del fenómeno de El Niño. Sin embargo, para años secos por menor de 550MMC, la retención de sólidos es menor a 1MMC por año.

Tabla 24.

Retención de sólidos para marzo, abril, y mayo (meses con clapetas erigidas).

MASA MENSUAL DEL RIO JEQUETEPEQUE										% de Masa por Peridos				Retencion de solidos	
PERIODO : 1942 - 2003															
MASA MEDIA MENSUAL (MMC) = MILLONES DE METROS CUBICOS															
N°	AÑO	MES			MASA ANUAL	Total anual Avenidas	MAXIMOS ANUAL	TOTAL ESTACIONAL		% ENE/MAY		% JUN/DIC		Solidos MMC Ret. - Anual	Ret. - Anual Mar - May
		MAR	ABR	MAY				ENE/MAY	JUN/DIC	ENE/MAY	JUN/DIC	Mar - May	Mar - May		
1	1942-43	262.50	260.80	96.70	913.95	822.30	262.50	822.30	155.10	84.13	15.87	620.00	63.43	2.17	1.38
2	1943-44	349.00	103.90	48.50	854.10	721.30	349.00	721.30	76.80	90.38	9.62	501.40	62.82	1.69	1.06
3	1944-45	275.90	164.60	47.90	811.40	738.00	275.90	738.00	106.00	87.44	12.56	488.40	57.87	1.04	0.60
4	1945-46	166.90	111.20	50.10	731.40	616.90	166.90	616.90	106.30	85.30	14.70	328.20	45.38	0.69	0.31
5	1946-47	79.50	137.10	114.90	551.40	430.20	137.10	430.20	290.90	59.66	40.34	331.50	45.97	1.46	0.67
6	1947-48	142.50	146.40	59.20	959.30	670.20	220.70	670.20	213.50	75.84	24.16	348.10	39.39	4.26	1.68
7	1948-49	421.60	337.50	66.20	1,188.00	972.80	421.60	972.80	104.30	90.32	9.68	825.30	76.62	0.57	0.44
8	1949-50	134.20	133.70	48.50	459.70	373.50	134.20	373.50	114.20	76.58	23.42	316.40	64.88	0.42	0.27
9	1950-51	86.80	70.00	32.40	413.50	309.60	86.80	309.60	130.50	70.35	29.65	189.20	42.99	1.95	0.84
10	1951-52	242.90	257.10	62.90	930.30	778.30	257.10	778.30	94.40	89.18	10.82	562.90	64.50	21.21	13.68
11	1952-53	632.60	519.40	87.30	2,019.30	1,909.20	632.60	1,909.20	246.90	88.55	11.45	1,239.30	57.48	0.99	0.57
12	1953-54	200.30	67.70	57.60	726.60	509.00	200.30	509.00	144.50	77.89	22.11	325.60	49.82	1.15	0.57
13	1954-55	195.80	111.50	67.20	784.70	615.40	195.80	615.40	119.60	83.73	16.27	374.50	50.95	2.27	1.16
14	1955-56	337.50	202.20	56.20	905.00	806.90	337.50	806.90	123.70	86.71	13.29	595.90	64.03	3.02	1.93
15	1956-57	352.20	306.90	125.90	1,068.10	899.90	352.20	899.90	175.40	83.69	16.31	785.00	73.00	1.14	0.83
16	1957-58	217.50	135.30	88.10	768.70	616.90	217.50	616.90	97.70	86.33	13.67	440.90	61.70	1.34	0.83
17	1958-59	249.40	190.30	120.80	718.50	623.80	249.40	623.80	168.10	78.77	21.23	560.50	70.78	1.12	0.79
18	1959-60	194.20	152.70	75.30	753.40	598.50	194.20	598.50	98.50	85.87	14.13	422.20	60.57	0.76	0.46
19	1960-61	148.40	123.40	64.00	607.90	508.70	148.40	508.70	71.50	87.68	12.32	335.80	57.88	1.92	1.11
20	1961-62	275.90	226.80	73.90	912.90	840.50	275.90	840.50	64.80	92.84	7.16	576.60	63.69	0.90	0.58
21	1962-63	212.10	181.40	50.60	509.60	459.90	212.10	459.90	120.20	79.28	20.72	444.10	76.56	1.05	0.81
22	1963-64	133.90	197.80	72.60	725.20	594.20	133.90	594.20	147.00	80.17	19.83	404.30	54.55	2.00	1.09
23	1964-65	326.50	237.70	82.80	841.30	691.70	326.50	691.70	173.80	79.92	20.08	647.00	74.75	0.55	0.41
24	1965-66	65.30	58.60	47.90	515.40	354.60	126.20	354.60	95.20	78.84	21.16	171.80	38.19	2.53	0.97
25	1966-67	298.10	94.30	49.00	945.50	836.80	304.10	836.80	90.50	90.24	9.76	441.40	47.60	0.19	0.09
26	1967-68	64.50	29.30	12.60	195.20	132.30	64.50	132.30	76.40	63.39	36.61	106.40	50.98	1.98	1.01
27	1968-69	129.90	196.50	34.00	541.10	449.90	196.50	449.90	151.60	74.80	25.20	360.40	59.92	0.88	0.53
28	1969-70	105.30	86.10	101.50	618.40	451.50	109.00	451.50	215.20	67.72	32.28	292.90	43.93	5.00	2.20
29	1970-71	396.70	347.10	79.50	1,176.90	947.40	396.70	947.40	219.20	81.21	18.79	823.30	70.57	2.44	1.72
30	1971-72	366.90	200.40	73.10	1,000.90	786.50	366.90	786.50	127.00	86.10	13.90	640.40	70.10	4.22	2.96
31	1972-73	230.60	432.30	132.30	1,161.40	1,008.90	432.30	1,008.90	341.00	74.74	25.26	795.20	58.91	1.55	0.91
32	1973-74	201.10	76.20	38.60	939.40	637.80	202.70	637.80	131.10	82.95	17.05	315.90	41.08	3.72	1.53
33	1974-75	346.30	266.70	90.50	1,063.10	901.50	346.30	901.50	225.00	80.03	19.97	703.50	62.45	1.09	0.68
34	1975-76	229.50	129.10	65.40	857.10	653.00	229.50	653.00	73.10	89.93	10.07	424.00	58.39	1.63	0.95
35	1976-77	197.10	153.40	61.60	855.00	785.30	293.70	785.30	111.90	87.53	12.47	412.10	45.93	0.28	0.13
36	1977-78	27.90	52.60	57.30	268.90	173.70	57.30	173.70	61.80	73.76	26.24	137.80	58.51	1.25	0.73
37	1978-79	331.90	76.70	35.40	596.60	538.20	331.90	538.20	41.40	92.86	7.14	444.00	76.60	0.13	0.10
38	1979-80	23.00	31.10	8.80	99.90	74.80	31.10	74.80	147.60	33.63	66.37	62.90	28.28	2.23	0.63
39	1980-81	260.90	67.90	31.10	807.90	638.70	260.90	638.70	149.20	81.06	18.94	359.90	45.68	0.49	0.22
40	1981-82	54.60	86.10	45.30	442.60	292.20	86.10	292.20	261.30	52.79	47.21	186.00	33.60	11.53	3.87
41	1982-83	466.60	395.30	218.00	1,765.80	1,428.80	466.60	1,428.80	249.10	85.15	14.85	1,079.90	64.36	6.27	4.03
42	1983-84	463.40	175.70	176.20	1,552.40	1,313.10	463.40	1,313.10	242.50	84.41	15.59	815.30	52.41	0.36	0.19
43	1984-85	63.50	38.90	23.30	364.80	198.70	63.50	198.70	59.50	76.96	23.04	125.70	48.68	0.71	0.35
44	1985-86	54.60	178.10	56.50	477.30	411.70	178.10	411.70	75.70	84.47	15.53	289.20	59.34	1.05	0.63
45	1986-87	82.20	53.40	50.40	548.00	478.10	153.20	478.10	78.50	85.90	14.10	186.00	33.42	0.59	0.20
46	1987-88	77.90	101.40	49.40	513.70	427.00	128.70	427.00	103.50	80.49	19.51	228.70	43.11	2.37	1.02
47	1988-89	271.30	227.00	64.10	1,038.60	926.00	271.30	926.00	153.80	85.76	14.24	562.40	52.08	0.31	0.16
48	1989-90	41.60	37.20	28.00	304.10	167.20	56.10	167.20	141.50	54.16	45.84	106.80	34.60	0.74	0.26
49	1990-91	135.30	73.50	51.90	438.90	299.40	135.30	299.40	41.60	87.80	12.20	260.70	76.45	0.87	0.67
50	1991-92	55.00	109.70	45.30	315.50	267.20	109.70	267.20	69.50	79.36	20.64	210.00	62.37	4.67	2.91
51	1992-93	446.10	292.90	90.30	1,050.50	961.50	446.10	961.50	268.20	78.19	21.81	829.30	67.44	3.11	2.10
52	1993-94	320.80	300.50	95.90	1,416.00	1,107.40	320.80	1,107.40	155.10	87.71	12.29	717.20	56.81	0.65	0.37
53	1994-95	117.10	107.50	38.60	497.00	402.20	117.10	402.20	122.35	76.68	23.32	263.20	50.18	2.13	1.07
54	1995-96	311.95	172.40	50.87	949.15	818.19	311.95	818.19	80.18	91.07	8.93	535.22	59.58	0.30	0.18
55	1996-97	51.70	40.20	30.20	259.87	197.20	65.90	197.20	261.50	42.99	57.01	122.10	26.62	28.71	7.64
56	1997-98	861.00	450.00	169.60	2,676.60	2,346.50	861.00	2,346.50	175.72	93.03	6.97	1,480.60	58.70	4.80	2.82
57	1998-99	294.81	164.46	133.32	1,224.20	1,032.49	398.75	1,032.49	293.47	77.87	22.13	592.59	44.69	3.88	1.74
58	1999-2000	437.81	226.44	174.29	1,340.46	1,057.04	437.81	1,057.04	184.91	85.11	14.89	838.54	67.52	7.06	4.77
59	2000-2001	636.50	331.13	108.43	1,693.30	1,514.40	636.50	1,514.40	250.47	85.81	14.19	1,076.06	60.97	2.77	1.69
60	2001-2002	413.16	337.02	78.78	1,189.73	972.19	413.16	972.19	297.49	76.57	23.43	828.96	65.29	0.86	0.56

Nota: Retención de sólidos durante los meses en los que las clapetas se mantendrían erigidas. Adaptado de

“Operación y mantenimiento de la presa Gallito Ciego”, por PEJEZA, 2017.

Teniendo un promedio del 55.92 % de volumen en MMC que ingresa en los meses de marzo, abril y mayo donde se habilitaran las clapetas, se identificará la cantidad de sólidos que se retiene en el pronóstico para los meses mencionados. Asimismo, Con el fin de identificar el periodo de tiempo que tardaría en cubrirse los 45MMC que planteamos recuperar usaremos un pronóstico de retención de sólidos que realizó la empresa ATA el año 2002/04 por encargo de PEJEZA.

Tabla 25.

Simulación pronosticada del proceso de colmatación del embalse 1987 – 2037.

SIMULACION PRONOSTICA DEL PROCESO DE COLMATACION DE VASO DE EMBALSE													
Rango	Año de Operación	Escorrentia Anual (MMC) Vh	Volumen del Embalse Ve (MMC)	Descarga Anual de Sólidos									
				Sólidos en Suspensión			Acarreo Va (MMC)	Total (MMC)	Masa Cumulativa (MMC)	Retencion de Sólidos			
				Masa Gs (1000Tn)	Peso Volumétrico (kg/m3)	Volumen Vs (MMC)				Finos (MMC)	Acarreo (MMC)	Total Anual (MMC)	Colmatación Cumulativa (MMC)
01	1987/88	509.40	544.70	160.28	1350.00	0.12	0.47	0.59	0.59	0.12	0.47	0.59	0.59
02	1988/89	1069.30	544.11	1753.94	1350.00	1.30	1.07	2.37	2.96	1.24	1.07	2.31	2.90
03	1989/90	292.80	541.80	84.15	1350.00	0.06	0.25	0.31	3.27	0.06	0.25	0.31	3.21
04	1990/91	437.00	541.49	487.92	1350.00	0.36	0.38	0.74	4.01	0.35	0.38	0.73	3.94
05	1991/92	317.60	540.76	787.06	1350.00	0.58	0.29	0.87	4.88	0.57	0.29	0.86	4.80
06	1992/93	1058.80	539.90	4943.06	1350.00	3.66	1.01	4.67	9.56	3.50	1.01	4.51	9.31
07	1993/94	1416.00	535.39	2391.03	1350.00	1.77	1.34	3.11	12.67	1.68	1.34	3.02	12.33
08	1994/95	490.00	532.37	266.95	1350.00	0.20	0.45	0.65	13.32	0.19	0.45	0.64	12.98
09	1995/96	949.50	531.72	1677.44	1350.00	1.24	0.89	2.13	15.45	1.19	0.89	2.08	15.06
10	1996/97	253.80	529.64	84.34	1350.00	0.06	0.24	0.30	15.75	0.06	0.24	0.30	15.36
11	1997/98	2701.20	529.34	35027.97	1350.00	25.95	2.76	28.71	44.46	23.90	2.76	26.66	42.02
12	1998/99	1237.10	502.68	4883.29	1350.00	3.62	1.18	4.80	49.25	3.43	1.18	4.61	46.63
13	1999/00	1324.70	498.07	3553.48	1350.00	2.63	1.25	3.88	53.14	2.49	1.25	3.74	50.37
14	2000/01	1703.90	494.33	7265.85	1350.00	5.38	1.68	7.06	60.20	5.04	1.68	6.72	57.09
15	2001/02	1171.20	487.61	2225.15	1350.00	1.65	1.12	2.77	62.97	1.57	1.12	2.69	59.78
16	2002/03	806.60	484.92	207.98	1350.00	0.15	0.71	0.86	63.83	0.15	0.71	0.86	60.64
17	2003/04	626.70	484.06	406.84	1350.00	0.30	0.58	0.88	64.71	0.29	0.58	0.87	61.51
18	2004/05	1191.80	483.19	5233.15	1350.00	3.88	1.12	5.00	69.71	3.68	1.12	4.80	66.31
19	2005/06	993.70	478.39	2024.73	1350.00	1.50	0.94	2.44	72.15	1.43	0.94	2.37	68.68
20	2006/07	1193.60	476.02	4162.40	1350.00	3.08	1.14	4.22	76.37	2.93	1.14	4.07	72.75
21	2007/08	906.34	471.95	935.48	1350.00	0.69	0.86	1.55	77.92	0.66	0.86	1.52	74.27
22	2008/09	1081.20	470.43	3628.69	1350.00	2.69	1.03	3.72	81.64	2.56	1.03	3.59	77.86
23	2009/10	839.00	466.84	461.01	1350.00	0.34	0.75	1.09	82.74	0.33	0.75	1.08	78.94
24	2010/11	852.80	465.76	1130.54	1350.00	0.84	0.79	1.63	84.36	0.80	0.79	1.59	80.53
25	2011/12	262.00	464.17	40.54	1350.00	0.03	0.25	0.28	84.64	0.03	0.25	0.28	80.81
26	2012/13	607.40	463.89	895.13	1350.00	0.66	0.59	1.25	85.90	0.64	0.59	1.23	82.04
27	2013/14	84.00	462.66	76.58	1350.00	0.06	0.07	0.13	86.02	0.06	0.07	0.13	82.17
28	2014/15	816.60	462.53	1928.02	1350.00	1.43	0.80	2.23	88.25	1.37	0.80	2.17	84.34
29	2015/16	444.80	460.36	115.64	1350.00	0.09	0.40	0.49	88.74	0.08	0.40	0.48	84.82
30	2016/17	1880.80	459.88	13000.02	1350.00	9.63	1.90	11.53	100.27	8.97	1.90	10.87	95.69
31	2017/18	1548.00	449.01	6411.17	1350.00	4.75	1.52	6.27	106.54	4.45	1.52	5.97	101.66
32	2018/19	343.20	443.04	99.19	1350.00	0.07	0.29	0.36	106.90	0.07	0.29	0.36	102.02
33	2019/20	500.30	442.68	312.81	1350.00	0.23	0.48	0.71	107.61	0.23	0.48	0.71	102.73
34	2020/21	550.20	441.97	708.71	1350.00	0.52	0.53	1.05	108.67	0.51	0.53	1.04	103.77
35	2021/22	509.40	440.93	160.28	1350.00	0.12	0.47	0.59	109.25	0.12	0.47	0.59	104.35
36	2022/23	1069.30	440.35	1753.94	1350.00	1.30	1.07	2.37	111.62	1.23	1.07	2.30	106.66
37	2023/24	292.80	438.04	84.15	1350.00	0.06	0.25	0.31	111.94	0.06	0.25	0.31	106.97
38	2024/25	437.00	437.73	487.92	1345.10	0.36	0.38	0.74	112.68	0.35	0.38	0.73	107.70
39	2025/26	317.60	437.00	787.06	1317.61	0.60	0.29	0.89	113.57	0.58	0.29	0.87	108.57
40	2026/27	1058.80	436.13	4943.06	1287.72	3.84	1.01	4.85	118.41	3.65	1.01	4.66	113.23
41	2027/28	1416.00	431.47	2391.03	1254.99	1.91	1.34	3.25	121.66	1.79	1.34	3.13	116.36
42	2028/29	490.00	428.34	266.95	1218.80	0.22	0.45	0.67	122.33	0.21	0.45	0.66	117.02
43	2029/30	949.50	427.68	1677.44	1178.35	1.42	0.89	2.31	124.64	1.36	0.89	2.25	119.27
44	2030/31	253.80	425.43	84.34	1132.49	0.07	0.24	0.31	124.96	0.07	0.24	0.31	119.58
45	2031/32	2701.20	425.12	35027.97	1079.54	32.45	2.76	35.21	160.16	29.38	2.76	32.14	151.72
46	2032/33	1237.10	392.98	4883.29	1016.92	4.80	1.18	5.98	166.15	4.51	1.18	5.69	157.42
47	2033/34	1324.70	387.28	3553.48	1016.92	3.78	1.25	5.03	171.18	3.54	1.25	4.79	162.21
48	2034/35	1703.90	382.49	7265.85	1016.92	8.63	1.68	10.31	181.49	8.01	1.68	9.69	171.90
49	2035/36	1171.20	372.80	2225.15	1016.92	3.17	1.12	4.29	185.78	2.98	1.12	4.10	176.00
50	2036/37	806.60	368.70	207.98	1016.92	0.45	0.71	1.16	186.94	0.43	0.71	1.14	177.14
TOTAL:		46200.24		173170.43		142.71	44.22	186.94		132.91	44.22	177.14	

Nota: Pronóstico de acumulación de sedimentos en el embalse Gallito Ciego. Adaptado de “Operación y mantenimiento de la presa Gallito Ciego”, por PEJEZA, 2017.

A continuación, se muestra la retención de sólidos para el pronóstico hasta el año 2037 entre los meses de marzo, abril y mayo.

Tabla 26.

Estimación pronosticada de colmatación con uso de clapetas.

				Descarga Anual de Sólidos						
	Escorrentia		Volumen	Sólidos en Suspensión					solidos	
Año de	Anual (MMC)	Cumulativa	del Embalse	Masa	Peso	Volumen	Acarreo	Total	Retenidos	Masa
Operación	Vh		Ve	Gs	Volumétrico	Vs	Va		Mar -May	Cumulativa
			(MMC)	(1000Tn)	(kg/m3)	(MMC)	(MMC)	(MMC)	(MMC)	(MMC)
2017/18	1548.00	29067.64	449.01	6411.17	1350.00	4.75	1.52	6.27	3.51	3.51
2018/19	343.20	29410.84	443.04	99.19	1350.00	0.07	0.29	0.36	0.20	3.71
2019/20	500.30	29911.14	442.68	312.81	1350.00	0.23	0.48	0.71	0.40	4.11
2020/21	550.20	30461.34	441.97	708.71	1350.00	0.52	0.53	1.05	0.59	4.70
2021/22	509.40	30970.74	440.93	160.28	1350.00	0.12	0.47	0.59	0.33	5.03
2022/23	1069.30	32040.04	440.35	1753.94	1350.00	1.30	1.07	2.37	1.32	6.35
2023/24	292.80	32332.84	438.04	84.15	1350.00	0.06	0.25	0.31	0.17	6.53
2024/25	437.00	32769.84	437.73	487.92	1345.10	0.36	0.38	0.74	0.42	6.94
2025/26	317.60	33087.44	437.00	787.06	1317.61	0.60	0.29	0.89	0.50	7.44
2026/27	1058.80	34146.24	436.13	4943.06	1287.72	3.84	1.01	4.85	2.71	10.15
2027/28	1416.00	35562.24	431.47	2391.03	1254.99	1.91	1.34	3.25	1.81	11.96
2028/29	490.00	36052.24	428.34	266.95	1218.80	0.22	0.45	0.67	0.37	12.34
2029/30	949.50	37001.74	427.68	1677.44	1178.35	1.42	0.89	2.31	1.29	13.63
2030/31	253.80	37255.54	425.43	84.34	1132.49	0.07	0.24	0.31	0.18	13.81
2031/32	2701.20	39956.74	425.12	35027.97	1079.54	32.45	2.76	35.21	19.69	33.49
2032/33	1237.10	41193.84	392.98	4883.29	1016.92	4.80	1.18	5.98	3.35	36.84
2033/34	1324.70	42518.54	387.28	3553.48	1016.92	3.78	1.25	5.03	2.81	39.65
2034/35	1703.90	44222.44	382.49	7265.85	1016.92	8.63	1.68	10.31	5.77	45.42
2035/36	1171.20	45393.64	372.80	2225.15	1016.92	3.17	1.12	4.29	2.40	
2036/37	806.60	46200.24	368.70	207.98	1016.92	0.45	0.71	1.16	0.65	

Nota: Calculo del tiempo en el que se volvería a colmatar el volumen útil recuperado con la implementación de las clapetas. Elaboración propia, 2019.

Al analizar la tabla anterior, se demuestra que el volumen de 45 MMC que se podría recuperar al implementar esta alternativa, se colmataría en un periodo de entre 16 a 18 años, tiempo adicional de vida útil para el embalse.

Finalmente, dándole un mayor sustento a esta propuesta, presentamos algunos casos en distintas presas en las cuales se optó por este sistema.

Figura 54. Compuertas Orbinox en la presa Caillouas – Francia.

Adaptado de Orbinox, 2018. Recuperado de <http://www.orbinox.com/clapetas-fusibles/instalaciones/compuertas> [Consulta: 25 de noviembre de 2018].

Figura 55. Compuertas instaladas en aliviadero.

Adaptado de Orbinox, 2018. Recuperado de <http://www.orbinox.com/clapetas-fusibles> [Consulta: 25 de noviembre de 2018].

A pesar de que este sistema ha sido implementado ya en varias partes del mundo, en el Perú la presa Gallito Ciego sería la primera en contar con este sistema de darse la oportunidad de realizar el proyecto.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Luego de haber evaluado la factibilidad de las diferentes soluciones a la pérdida de volumen de agua por colmatación en el embalse Gallito Ciego, se puede concluir lo siguiente:

- El planteamiento de la alternativa de construir un canal lateral es inviable debido a su alto costo de construcción, la inversión a realizar de aproximadamente \$ 31'043,653.00 no es justificable para los beneficios que se obtendrían, adicionalmente, las condiciones del terreno no son óptimas para pensar en realizar un proyecto como este.
- El planteamiento de la alternativa de optar por el dragado sustentable es descartada debido a que el costo por dragar todo el material sedimentado es de aproximadamente \$728'000,000.00; y la ganancia obtenida por explotar la materia prima extraída de los sedimentos es de \$ 205'627,254.00 aproximadamente. Es decir, que existiría déficit al aplicar esta solución al embalse en estudio.
- Al finalizar esta investigación hemos propuesto una alternativa combinada que se adapte al embalse en estudio, con la instalación de las clapetas se podrá tener control de un adicional de aproximadamente 45 MMC de volumen útil de agua, y un agregado de entre 16 y 18 años de vida operativa; este sistema representa una alternativa rentable, viable y se respalda en la utilización del mismo sistema en otros casos como en los embalses de Caillouas, Francia; Dhypotamos, Chipre; Dove Stone, Inglaterra; Ghrib, Argelia; Kakdiamba, India; Khorobrovskaya, Rusia; Lussas, Francia; Maclure, USA; entre otras. Se ha comparado el beneficio conjunto de recuperar 45 MMC de volumen útil y darle 18 años adicionales de vida al embalse versus la inversión económica que representa la implementación de este sistema de \$ 1' 588,833.37; adicionalmente, se propone la implementación de un proyecto de reforestación en las cuencas que obtenga bonos de carbono por contribuir con la disminución de gases contaminantes, la inversión aproximada de esta alternativa es de \$ 2' 900,000.00.

Entonces, el monto total de la implementación de ambas alternativas sería de \$ 4' 488,833.37 aproximadamente, un valor justificable.

- El proceso de colmatación de un embalse es inevitable, pero con propuestas ingenieriles como la presentada en este estudio somos capaces de poder dar mayor

cantidad de años de vida útil al embalse, siempre y cuando sea una propuesta lógica, factible y rentable.

5.2 Recomendaciones

- Para el análisis y realización de este tipo de estudio es necesario poder contar con data e información histórica actualizada, es recomendable adquirir dicha información de la entidad que administra el embalse, pues son quienes tienen acceso directo a la información hidrológica de la cuenca que abastece al embalse. Para los respectivos cálculos, recomendamos utilizar herramientas computacionales como Excel, Autocad, Hcanales, y demás programas que permitan procesar data hidrológica.
- Es importante recalcar que cada embalse cuenta con distintas variables geográficas a tomar en cuenta (ubicación, altitud, latitud, entre otras); variables meteorológicas (clima, humedad, temperatura); y variables hidrológicas (precipitaciones); estructurales (dimensión de la presa, capacidad), por lo que hay alternativas que pueden ser o no ser aplicadas a los mismos, por lo que es recomendable en cada caso de estudio considerar eventos extraordinarios que afectan directamente determinadas zonas y sus embalses, en el caso de los embalses peruanos el evento que afecta sus embalses es el fenómeno de El Niño por el exceso de precipitaciones entre los meses de diciembre a marzo, que traen consigo acarreo de material sólido de la cuenca alta hacia la baja.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Autoridad Nacional del Agua. (2015). *Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Jequetepeque*. Recuperado de http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/erh-jequetepeque_2015_superficiales.pdf [Consulta: 12 de diciembre de 2018].
- Bray, N. & Cohen, M. (2010). *Dragado por el desarrollo*. 6ª. ed. Recuperado de <https://www.iadc-dredging.com/ul/cms/fck-uploaded/documents/PDF%20Publications/dredging-for-development-spanish.pdf> [Consulta: 17 de abril de 2018].
- Brea, J. & Balocchi, F. (2010). *Procesos de erosión – sedimentación en cauces y cuencas* [Vol. 1 T. 22]. Recuperado de http://eias.utalca.cl/isi/publicaciones/erosion_y_sedimentacion_voll.pdf [Consulta: 20 de julio de 2018].
- Cobo, R. (2008). Los sedimentos de los embalses españoles. *Ingeniería del agua*, 15 (4), 231-241. Recuperado de <http://www.ingenieriadelagua.com/2004/download/15-4%5Carticle2.pdf> [Consulta: 29 de mayo de 2018].
- Fruchart, F. & Camenen, B. (2012). *Reservoir Sedimentation Different Type of Flushing – Friendly Flushing Example of Genissiat Dam Flushing*. Recuperado de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00761305/document> [Consulta: 19 de julio de 2019].
- Gencel, Z. (2011). *Sedimentación del reservorio Poechos y medidas de prolongación de su vida útil*. http://irh-fce.unse.edu.ar/R11/TC/TC_B09_Gencel_sedimentacion_reservorio_Poechos.pdf [Consulta: 18 de julio de 2019].
- Matienzo, R. (2014). *Análisis de la influencia de la represa de Gallito Ciego en la calidad del agua del curso inferior del río Jequetepeque*. (Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima: Perú).
- Ministerio de Agricultura & Instituto Nacional de Recursos Naturales. (2005). *Plan nacional de reforestación*. Recuperado de <http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/especiales/leyforestalydefaunasilvestr>

[e/documentosdeconsulta/plannacionaldereforestacion.pdf](#) [Consulta: 20 de agosto de 2018].

- Ministerio de Agricultura. (2012), *Situación Actual del Sector Agrario Referente al Cambio Climático*. Recuperado de http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/especiales/bioenergia/cambio_climatico/avances.pdf [Consulta: 01 de febrero de 2019].
- Moreno, A. (2008). *Proyecto “Obras de control y medición de agua por bloques de riego en el valle Jequetepeque regulado”*. Recuperado de <http://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/ANA/2235/ANA0001045.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Consulta: 25 de noviembre de 2018].
- Morris, G. & Fan, J. (2010). *Reservoir Sedimentation Handbook: Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for sustainable use*. Recuperado de <https://reservoirsedimentation.com/> [Consulta: 05 de setiembre de 2018].
- Nomberto, O. & SILVA, R. (2015). *Evaluación del volumen de los sedimentos del embalse de la presa Gallito Ciego durante su vida útil para estimar la proyección del volumen sedimentado*. (Tesis de licenciatura, Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería. Trujillo: Perú). Recuperado de <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upaorep/2054> [Consulta: 21 de octubre de 2018].
- Proyecto Especial Jequetepeque Zaña. (2015). *Operación y mantenimiento de la presa Gallito Ciego*. Recuperado de http://www.pejeza.gob.pe/pdf/SEDIMENTACION_EMBALSE_GC.pdf [Consulta: 10 de octubre de 2018].
- Proyecto Especial Jequetepeque Zaña. (2016). *Estudio de la pre-factibilidad – protección del embalse Gallito Ciego de la colmatación por acarreos*. Recuperado de http://www.pejeza.gob.pe/pdf/PROTECCION_EMBALSE_GC.pdf [Consulta: 11 de marzo de 2018].
- Ríos, N. (2013). *Estudio químico de sedimentos de la represa de Gallito Ciego como contribución al estudio de calidad ambiental del reservorio*. (Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima: Perú).

- Rojas, G. (2008). Manejo y aprovechamiento del agua en la cuenca del río Jequetepeque. *Proyecto especial Jequetepeque - Zaña, 10* (2), 159-170. Recuperado de <https://docplayer.es/45401616-Manejo-y-aprovechamiento-del-agua-en-la-cuenca-del-río-jequetepeque.html> [Consulta: 26 de julio de 2018].
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2016). Boletín Regional hidrometeorológico – Cajamarca [Tabla]. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones> [Consulta: 17 de setiembre de 2018].
- Silva, M. (2012). *Estudio y modelamiento matemático de los procesos de sedimentación y purga de un reservorio*. (Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil. Lima: Perú). Recuperado de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1131/1/silva_dm.pdf [Consulta: 08 de diciembre de 2018].

7 ANEXOS

ANEXO N° 1 – RESUMEN PRESUPUESTO CANAL

DATOS DEL PROYECTO			
PROYECTO: CANAL GALLITO CIEGO			
ÍTEM	DESCRIPCIÓN		P. PARCIAL S/.
1.00	OBRAS PRELIMINARES		511,893.98
2.00	ESTRUCTURAS		80,107,495.61
3.00	SALUD Y SEGURIDAD INDUSTRIAL		151,340.21
	COSTO DIRECTO		80,770,729.80
4.00	GASTOS GENERALES DE OBRA	5.00%	4,038,536.49
5.00	ADMINISTRACION DE OBRA (9%)	9.00%	7,269,365.68
	COSTO INDIRECTO	14.00%	11,307,902.17
			S/.
SUBTOTAL			92,078,631.97
I.G.V.		18.00%	16,574,154
TOTAL OBRA (S/.)			108,652,785.72

OBRAS PRELIMINARES Y PROVISIONALES

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/	Parcial S/	Parcial S/
01	OBRAS PRELIMINARES Y PROVISIONALES					
1.01	OFICINAS PERSONAL EMPLEADO				S/	42,899.00
010101	CONTENEDOR DE OFICINA, INC. FLETE, AIRE ACONDICIONADO E INST. VOZ Y DATA	Und.	2.00	S/ 12,750.00	S/ 25,500.00	
010102	BAÑOS PARA PERSONAL STAFF	m2	20.00	S/ 8160	S/ 1632.00	
010103	EQUIPAMIENTO CAMPAMENTO Y OBRA - MOBILIARIO, EQUIPOS Y RED ELECTRICA	glb	100	S/ 15,767.00	S/ 15,767.00	
1.02	INSTALACIONES PERSONAL OBRERO Y DE APOYO				S/	17,402.10
0102.01	BAÑOS PROVISIONALES OBREROS	m2	30.00	S/ 72.25	S/ 2,167.50	
0102.02	ALMACEN TECHADO CERRADO	m2	30.00	S/ 193.88	S/ 5,816.40	
0102.03	COMEDOR PROVISIONAL	m2	30.00	S/ 159.55	S/ 4,786.50	
0102.04	VESTUARIO RUSTICO	m2	30.00	S/ 154.39	S/ 4,631.70	
1.03	QA/QC				S/	63,000.00
0103.01	IMPLEMENTACION DEL PLAN DE CALIDAD	MES	14.00	S/ 4,500.00	S/ 63,000.00	
1.04	SERVICIOS				S/	89,053.26
01.04.01	AGUA PARA LA CONSTRUCCION					
0104.0101	CONEXION DE AGUA Y DESAGUE PROVISIONAL	glb	100	S/ 1,847.88	S/ 1,847.88	
0104.0102	SUMINISTRO DE AGUA PROVISIONAL	MES	14.00	S/ 2,500.00	S/ 35,000.00	
01.04.02	ENERGIA ELECTRICA PROVISIONAL					
0104.02.01	CONEXION E INSTALACION DE ENERGIA PROVISIONAL	glb	100	S/ 2,543.35	S/ 2,543.35	
0104.02.02	FLUIDO ELECTRICO PARA LA OBRA	MES	14.00	S/ 3,500.00	S/ 49,000.00	
01.04.03	TELEFONICA Y COMUNICACION PROVISIONAL					
0104.03.01	CONEXION E INSTALACION DE COMUNICACION PROVISIONAL	glb	100	S/ 662.03	S/ 662.03	
1.05	TRAZO Y REPLANTEO				S/	92,250.00
0105.01	TRAZO Y REPLANTEO DURANTE LA OBRA	m	10,250.00	S/ 9.00	S/ 92,250.00	
1.06	TRANSPORTE Y MOVILIZACIONES				S/	23,096.00
0106.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE ENCOFRADOS	vje	8.00	S/ 2,237.00	S/ 17,896.00	
0106.02	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPO LIVIANO	vje	10.00	S/ 520.00	S/ 5,200.00	
1.07	SEGURIDAD DE OBRA				S/	150,693.62
0107.01	GUARDIANIA (2°PTO DIA+01PTO DE NOCHE)	mes	14.00	S/ 10,763.83	S/ 150,693.62	
1.08	LIMPIEZA				S/	33,500.00
0108.01	LIMPIEZA PERMANENTE DE OBRA	m2	10,250.00	S/ 1.10	S/ 11,275.00	
0108.02	LIMPIEZA FINAL DE OBRA	m2	10,250.00	S/ 0.90	S/ 9,225.00	
0108.03	ACARREO DE DESMONTE Y SOBRANTES	Glb	100	S/ 10,500.00	S/ 10,500.00	
0108.04	ELIMINACION DE BASURA Y ELEMENTOS SUELTOS Y LIVIANOS	Glb	100	S/ 2,500.00	S/ 2,500.00	
TOTAL		S/			S/	511,893.98

ESTRUCTURAS

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/	Parcial S/	Total
02	ESTRUCTURAS					
02.01	EQUIPO PARA ESTRUCTURAS				S/	37,290.96
02.0101	EQUIPO PARA CONCRETO	glb	100 S/	8,000.00 S/	8,000.00	
02.0102	EQUIPO PARA TOPOGRAFIA	glb	100 S/	5,020.00 S/	5,020.00	
02.0103	EQUIPO PARA ENCOFRADO	glb	100 S/	1,500.00 S/	1,500.00	
02.0104	EQUIPO PARA ACERO	glb	100 S/	6,000.00 S/	6,000.00	
02.0105	EQUIPO PARA MOV TIERRAS	glb	100 S/	2,000.00 S/	2,000.00	
02.0106	MODULACION Y HABILITACION DE ENCOFRADO	día	100 S/	14,770.96 S/	14,770.96	
02.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				S/	47,846,195.89
02.02.01	PLATAFORMAS					
02.02.0101	EXCAVACION MASIVA CORTE SC	m3	630,990.00 S/	24.80 S/	15,648,552.00	
02.02.0102	ACARREO DE MATERIAL	m3	783,612.50 S/	24.41 S/	19,127,981.13	
02.02.0103	ELIMINACION DE EXCAVACION MASIVA	m3	783,612.50 S/	16.00 S/	12,537,800.00	
02.02.0104	RIEGO, NIVELACION Y COMPACTADO CAMA DE APOYO	m2	128125 S/	6.37 S/	8,161.56	
02.02.0105	REFINE DE ZANJAS - TALUDES	m2	142,680.00 S/	2.09 S/	298,201.20	
02.02.0106	RELLENO CON MATERIAL PROPIO BORDE DEL CANAL	m3	4,100.00 S/	55.00 S/	225,500.00	
02.03	CONCRETO ARMADO				S/	32,224,008.76
02.03.01	CONCRETO SIMPLE					
02.03.0101	SOLADO CICLOPEO CONCRETO FC'=100 KG/CM² (PISO)	m3	9,440.25 S/	278.85 S/	2,632,413.71	
02.03.02	CONCRETO ARMADO					
02.03.02.01	CONCRETO F'C=210 KG/CM² P 56 S2-4	m3	51,429.38 S/	280.87 S/	14,444,969.96	
02.03.02.02	ENCOFRADO METALICO CARAVISTA DEL CANAL	m2	285,360.00 S/	17.84 S/	5,090,822.40	
02.03.02.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO BORDE DEL CANAL	m2	4,100.00 S/	40.14 S/	164,574.00	
02.03.02.04	ACERO FY= 4200 kg/cm²	kg	2,078,454.00 S/	3.88 S/	8,064,401.52	
02.03.02.05	JUNTA DE CONTRACCION CON W.S. DE 6"	m	68,579.19 S/	23.62 S/	1,619,840.47	
02.03.02.06	RESANE DE CONCRETO EN LOS EMPALMES	est.	100 S/	4,500.00 S/	4,500.00	
02.03.02.07	CURADO DE CONCRETO QUIMICO - CANAL	m2	348,397.50 S/	0.52 S/	181,166.70	
02.03.02.08	CURADO DE CONCRETO QUIMICO - BORDE DE CANAL	m2	41,000.00 S/	0.52 S/	21,320.00	
TOTAL		S/				80,107,495.61

EHS & S

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/	Parcial S/	Total
03	EHS & S					
03.01	GENERALES				S/	59,119.02
03.0101	MONITOR DE SEGURIDAD	mes	14.00 S/	3,231.93 S/	45,247.02	
03.0102	EXAMENES MEDICOS OCUPACIONALES STAFF	und	8.00 S/	170.00 S/	1,360.00	
03.0103	EXAMENES MEDICOS PERSONAL OBRERO	und	80.00 S/	156.40 S/	12,512.00	
03.02	EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL				S/	54,507.60
03.02.01	UNIFORMES PERSONAL OBRERO	und	80.00 S/	120.45 S/	9,636.00	
03.02.02	EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL - OBREROS	lot	2.00 S/	19,598.00 S/	39,196.00	
03.02.03	EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL - STAFF	und	8.00 S/	709.45 S/	5,675.60	
03.03	EQUIPO DE PROTECCION COLECTIVA				S/	16,453.59
03.03.01	BARANDA DE SEGURIDAD	m	10,250.00 S/	0.70 S/	7,175.00	
03.03.02	SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD	lot	100 S/	6,509.95 S/	6,509.95	
03.03.04	ACCESORIOS GUIA Y PROTECCION COLECTIVA	lot	2.00 S/	1,384.32 S/	2,768.64	
03.04	RESPUESTA ANTE EMERGENCIAS				S/	4,760.00
03.04.01	MEDICINA (PRIMEROS AUXILIOS)	MES	14.00 S/	200.00 S/	2,800.00	
03.04.02	EXTINTOR 12 KG	und	20.00 S/	98.00 S/	1,960.00	
03.05	MEDIO AMBIENTE				S/	16,500.00
03.05.03	CHUTE VERTICAL	und	100 S/	10,000.00 S/	10,000.00	
03.05.04	FUMIGACION DE TERRENO SUPERFICIAL	est	100 S/	6,500.00 S/	6,500.00	
TOTAL		S/				S/ 151,340.21

METRADO

Ítem	Descripción	Und	Cantidad	Longitud (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Area (m2)	Vol. (m3)	Diametro (m)	Factor	Metrado	
											Parcial	Total
01.00 MOVIMIENTO DE TIERRAS												
1.01	EXCAVACIÓN MANUAL CIMIENTOS	m3										630,990.00
			1.00	10,250.00			61.56				630,990.00	
1.02	RELLENO CON MATERIAL PROPIO BORDE DEL CANAL	m3										4,100.00
			2.00	10,250.00	2.00	0.10					4,100.00	
1.03	ACARREO DE MATERIAL	m3										783,612.50
			1.00					626,890.00		1.25	783,612.50	
1.04	ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE	m3										783,612.50
			1.00					626,890.00		1.25	783,612.50	
1.05	RIEGO, NIVELACION Y COMPACTADO CAMA DE APOYO	m3										1,281.25
			1.00	10,250.00		0.10				1.25	1,281.25	
1.06	REFINE DE ZANIJAS - TALUDES	m2										142,680.00
			2.00	10,250.00		6.96					142,680.00	
02.00 OBRAS DE CONCRETO SIMPLE												
2.01	CONCRETO CICLOPEO CONCRETO FC'=100 KG/CM² - SOLERA	m3										9,440.25
	SOLADO CICLOPEO CONCRETO FC'=100 KG/CM² (PISO)		1.00	10,250.00	6.14	0.15					9,440.25	
2.01	CONCRETO CICLOPEO CONCRETO FC'=100 KG/CM² - BORDE DEL CANAL	m3										4,100.00
	SOLADO CICLOPEO CONCRETO FC'=100 KG/CM² (PISO)		2.00	10,250.00	2.00	0.10					4,100.00	
3.02	ENCONFRADO BORDE DE CANAL	m2										4,100.00
	Encofrado SC Corte y-y		4.00	10,250.00		0.10					4,100.00	
03.00 OBRAS DE CONCRETO ARMADO												
3.01	ACERO CANAL	kg										2,078,454.00
	Acero Vertical Corte y-y		142.00	10,250.00					1/2	0.99	1,446,767.00	
	Acero Horizontal Corte x-x		62.00	10,250.00					1/2	0.99	631,687.00	
3.02	ENCONFRADO CANAL	m2										285,360.00
	Encofrado SC Corte y-y		2.00	10,250.00		6.96					142,680.00	
	Encofrado SC Corte x-x		2.00	10,250.00		6.96					142,680.00	
3.03	CONCRETO CANAL Fc=210kg/cm2	m3										51,429.38
	Corte y-y		2.00	10,250.00	0.25	6.96					35,670.00	
	Corte x-x		1.00	10,250.00	0.25	6.15					15,759.38	
3.04	CURADO DE CONCRETO QUIMICO - CANAL	m2										348,397.50
	Corte y-y		2.00	10,250.00		13.92					285,360.00	
	Corte x-x		1.00	10,250.00	6.15						63,037.50	
3.05	CURADO DE CONCRETO QUIMICO - BORDE CANAL	m2										41,000.00
	Corte y-y		2.00	10,250.00		2.00					41,000.00	
3.06	JUNTA DE CONTRACCION CON W.S. DE 6"	m										68,579.19
			3,417.00	20.07							68,579.19	

Análisis de Precios Unitarios

SubPresupuest ESTRUCTURAS							
Partida	020101	EQUIPO PARA CONCRETO					
Rendimiento	glb/DIA	MO	1.0000	EQ.	1.0000	Costo Unitario directo por:	glb 8,000.00
H.H	0.0000	H.M				Jornada	8.50
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
	Equipos y Herramientas						
0301000302	CORTADORA DE CONCRETO		und	0.0000	3.0000	1,250.00	3,750.00
0301000501	VIBRADOR DE CONCRETO		und	0.0000	2.0000	2,125.00	4,250.00
							8,000.00
Partida	020102	EQUIPO PARA TOPOGRAFIA					
Rendimiento	glb/DIA	MO	1.0000	EQ.	1.0000	Costo Unitario directo por:	glb 5,020.00
H.H	0.0000	H.M				Jornada	8.50
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
	Equipos y Herramientas						
0307000403	NIVEL OPTICO (COMPRA)		und	0.0000	0.8000	1,150.00	920.00
0307000501	TEODOLITO (COMPRA)		und	0.0000	0.2000	18,500.00	3,700.00
0307000504	MIRA TELESCOPICA DE ALUMINIO DE 5 MTS		und	0.0000	2.0000	200.00	400.00
							5,020.00
Partida	020103	EQUIPO PARA ENCOFRADO					
Rendimiento	glb/DIA	MO	1.0000	EQ.	1.0000	Costo Unitario directo por:	glb 1,500.00
H.H	0.0000	H.M				Jornada	8.50
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
	Equipos y Herramientas						
0301001001	SIERRA CIRCULAR COMPRA		und	0.0000	1.0000	900.00	900.00
0308000510	DISCO P/SIERRA CIRCULAR		und	0.0000	2.0000	300.00	600.00
							1,500.00
Partida	020104	EQUIPO PARA ACERO					
Rendimiento	glb/DIA	MO	1.0000	EQ.	1.0000	Costo Unitario directo por:	glb 6,000.00
H.H	0.0000	H.M				Jornada	8.50
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
	Equipos y Herramientas						
0301000902	CIZALLA MANUAL		und	0.0000	2.0000	425.00	850.00
0301000905	CIZALLA ELECTRICA (ALQ		mes	0.0000	3.0000	1,500.00	4,500.00
0308000701	CUCHILLA P/CIZALLA ELECTRICA		und	0.0000	1.0000	650.00	650.00
							6,000.00
Partida	020105	EQUIPO PARA MOV TIERRAS					
Rendimiento	glb/DIA	MO	1.0000	EQ.	1.0000	Costo Unitario directo por:	glb 2,000.00
H.H	0.0000	H.M				Jornada	8.50
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
	Equipos y Herramientas						
0301001102	COMPACTADORA PLANCHA (ALQ		MES	0.0000	2.0000	1,000.00	2,000.00
							2,000.00
Partida	020106	MODULACION Y HABILITACION DE ENCOFRADO					
Rendimiento	día/DIA	MO	0.1600	EQ.	1.0000	Costo Unitario directo por:	día 14,770.96
H.H	850.0000	H.M				Jornada	8.50
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
	Mano de Obra						
0101000101	OPERARIO		hh	8.0000	425.0000	18.69	7,943.25
0101000301	AYUDANTE		hh	8.0000	425.0000	14.13	6,005.25
							13,948.50
	LLAVE						
0206000306	ADITIVO DESMOLD ENCOFRADO ALUMI-CON		GLN	0.0000	25.0000	16.16	404.00
							404.00
	Equipos y Herramientas						
0305000106	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo	0.0000	3.0000	13,948.50	418.46
							418.46

Partida	02020101	EXCAVACION MASIVA SC								
Rendimiento	m3/DIA	MO	1.0000	EQ.	1.0000	Costo Unitario directo por:		m3	24.08	
H.H	0.0000	H.M						Jornada	8.50	
Código	Descripción Recurso					Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
	<u>Subcontratos</u>									
0402000302	SC EXCAVACION PLATAFORMA h:3,5m					m3	0.0000	1.0000	24.08	24.08
										24.08
Partida	02020102	RELLENO CON MATERIAL PROPIO BORDE DEL CANAL								
Rendimiento	m3/DIA	MO	1.0000	EQ.	1.0000	Costo Unitario directo por:		m3	55.00	
H.H	0.0000	H.M						Jornada	8.50	
Código	Descripción Recurso					Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
	<u>Subcontratos</u>									
0402000503	SC RELLENO CONTROLADO C/MAT GRANULAR					m3	0.0000	1.0000	55.00	55.00
										55.00
Partida	02020103	ELIMINACION DE EXCAVACION MASIVA								
Rendimiento	m3/DIA	MO	1.0000	EQ.	1.0000	Costo Unitario directo por:		m3	16.00	
H.H	0.0000	H.M						Jornada	8.50	
Código	Descripción Recurso					Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
	<u>Subcontratos</u>									
0402000204	SC ELIMIN DE MAT EXCEDENTE C/VOLQUETES					m3	0.0000	1.0000	16.00	16.00
										16.00
Partida	02020202	ACARREO DE MATERIAL								
Rendimiento	m3/DIA	MO	6.0000	EQ.	6.0000	Costo Unitario directo por:		m3	24.41	
H.H	1.5583	H.M						Jornada	8.50	
Código	Descripción Recurso					Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
	<u>Mano de Obra</u>									
0101000301	AYUDANTE					hh	1.0000	1.4167	14.13	20.02
0102000201	CAPATAZ					hh	0.1000	0.1417	26.00	3.68
										23.70
	<u>Equipos y Herramientas</u>									
0305000106	HERRAMIENTAS MANUALES					%mo	0.0000	3.0000	23.70	0.71
										0.71
Partida	2020108	RIEGO, NIVELACION Y COMPACTADO CAMA DE APOYO								
Rendimiento	m3/DIA	MO	1.0000	EQ.	1.0000	Costo Unitario directo por:		m2	6.37	
H.H	0.0000	H.M						Jornada	8.50	
Código	Descripción Recurso					Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
	<u>Subcontratos</u>									
0402000302	SC RIEGO, NIVELACION Y COMPACTADO CAMA DE APOYO					m3	0.0000	1.0000	6.37	6.37
										6.37
Partida	2020109	REFINE DE ZANJAS - TALUDES								
Rendimiento	m3/DIA	MO	1.0000	EQ.	1.0000	Costo Unitario directo por:		m2	2.09	
H.H	0.0000	H.M						Jornada	8.50	
Código	Descripción Recurso					Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
	<u>Subcontratos</u>									
0402000302	SC REFINE DE ZANJAS - TALUDES					m3	0.0000	1.0000	2.09	2.09
										2.09
Partida	02030301	CONCRETO F'C= 100 KG/CM2 P67 S6-8								
Rendimiento	m3/DIA	MO	65.0000	EQ.	57.0000	Costo Unitario directo por:		m3	278.85	
H.H	1.4515	H.M						Jornada	8.50	
Código	Descripción Recurso					Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
	<u>Mano de Obra</u>									
0101000101	OPERARIO					hh	3.0000	0.3923	18.69	7.33
0101000301	AYUDANTE					hh	8.0000	1.0462	14.13	14.78
0102000201	CAPATAZ					hh	0.1000	0.0131	26.00	0.34
										22.45
	<u>LLAVE</u>									
0203000907	CONCRETO PREMEZ FC=175KG/CM2 P67 S6-8					m3	0.0000	1.0500	209.00	219.45
0207000201	GASOLINA					GLN	0.0000	0.0500	11.50	0.58
										220.03
	<u>Equipos y Herramientas</u>									
0304000601	ALQ BOMBA P/CONCRETO POR M3					m3	0.0000	1.0500	34.00	35.70
0305000106	HERRAMIENTAS MANUALES					%mo	0.0000	3.0000	22.45	0.67

Partida	02030101	CONCRETO F'C=210 KG/CM2 P56 S2-4 N						
Rendimiento	m3/DIA	MO	63.0000	EQ.	65.0000	Costo Unitario directo por:		m3
H.H	1.0929	H.M				Jornada		8.50
Código	Descripción Recurso				Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/
	Mano de Obra							Parcial S/
0101000101	OPERARIO				hh	3.0000	0.4048	18.69
0101000301	AYUDANTE				hh	5.0000	0.6746	14.13
0102000201	CAPATAZ				hh	0.1000	0.0135	26.00
								17.45
	LLAVE							
0203000912	CONCRETO PREMEZ F'C=210KG/CM2 P56 S2-4				m3	0.0000	1.0700	211.00
0207000201	GASOLINA				GLN	0.0000	0.0600	11.50
								226.46
	Equipos y Herramientas							
0304000601	ALQ BOMBA P/CONCRETO POR M3				m3	0.0000	1.0700	34.00
0305000106	HERRAMIENTAS MANUALES				%mo	0.0000	3.0000	17.45
								36.90
Partida	02030102	ACERO FY= 4200 kg/cm 2						
Rendimiento	kg/DIA	MO	200.0000	EQ.	675.0000	Costo Unitario directo por:		kg
H.H	0.0680	H.M				Jornada		8.50
Código	Descripción Recurso				Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/
	Mano de Obra							Parcial S/
0101000101	OPERARIO				hh	1.0000	0.0425	18.69
0101000301	AYUDANTE				hh	0.5000	0.0213	14.13
0102000201	CAPATAZ				hh	0.1000	0.0043	26.00
								1.21
	LLAVE							
0204000101	ACERO C° FY=4200KG/CM2 G60 (KG)				kg	0.0000	1.0500	2.34
0204000302	ALAMBRE NEGRO RECOCIDO N° 16				kg	0.0000	0.0500	3.60
								2.64
	Equipos y Herramientas							
0305000106	HERRAMIENTAS MANUALES				%mo	0.0000	3.0000	1.21
								0.04
	Subcontratos							
0414000101	SC INST. DE MALLAS Y ACERO DIMENSIONADO				ton	0.0000	0.0000	0.00
								0.00
Partida	02030302	ENCOFRADO METALICO CARAVISTA DEL CANAL						
Rendimiento	m2/DIA	MO	223.0000	EQ.	220.0000	Costo Unitario directo por:		m2
H.H	0.7662	H.M				Jornada		8.50
Código	Descripción Recurso				Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/
	Mano de Obra							Parcial S/
0101000101	OPERARIO				hh	10.0000	0.3812	18.69
0101000301	AYUDANTE				hh	10.0000	0.3812	14.13
0102000201	CAPATAZ				hh	0.1000	0.0038	26.00
								12.61
	LLAVE							
0204000301	ALAMBRE NEGRO RECOCIDO N° 8				kg	0.0000	0.1176	3.26
0204000901	CLAVOS (KG)				kg	0.0000	0.0071	4.00
0206000306	ADITIVO DESMOLD ENCOFRADO ALUMI-CON				GLN	0.0000	0.0166	16.16
0206000601	ADITIVO SOLVENTE (GLN)				GLN	0.0000	0.0100	30.00
0214000203	MADERA TORNILLO				p2	0.0000	0.1600	4.10
								1.64
	Equipos y Herramientas							
0232001201	CONSUMIBLES P/ENCOFRADO				m2	0.0000	1.0000	0.25
0302000102	ENCOFR METALICO P/MUROS				m2	0.0000	1.0000	2.82
0302000301	ESCUADRAS				und	0.0000	0.3970	0.35
0305000106	HERRAMIENTAS MANUALES				%mo	0.0000	3.0000	12.61
								3.59

Partida		02030202		ENCOFRADO BORDE DEL CANAL					
Rendimiento	m2/DIA	MO	11.0000	EQ.	10.0000	Costo Unitario directo por:	m2	40.14	
H.H	1.6227	H.M					Jornada	8.50	
Código	Descripción Recurso				Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
	<u>Mano de Obra</u>								
0101000101	OPERARIO				hh	1.0000	0.7727	18.69	14.44
0101000301	AYUDANTE				hh	1.0000	0.7727	14.13	10.92
0102000201	CAPATAZ				hh	0.1000	0.0773	26.00	2.01
									27.37
	<u>LLAVE</u>								
0204000301	ALAMBRE NEGRO RECOCIDO N° 8				kg	0.0000	0.2200	3.26	0.72
0204000901	CLAVOS (KG)				kg	0.0000	0.2500	4.00	1.00
0207000301	PETROLEO				GLN	0.0000	0.0500	11.80	0.59
0214000203	MADERA TORNILLO				p2	0.0000	2.3500	4.10	9.64
									11.94
	<u>Equipos y Herramientas</u>								
0305000106	HERRAMIENTAS MANUALES				%mo	0.0000	3.0000	27.37	0.82
									0.82
Partida		02030304		CURADO DE CONCRETO QUIMICO					
Rendimiento	m2/DIA	MO	700.0000	EQ.	700.0000	Costo Unitario directo por:	m2	0.52	
H.H	0.0121	H.M					Jornada	8.50	
Código	Descripción Recurso				Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
	<u>Mano de Obra</u>								
0101000301	AYUDANTE				hh	1.0000	0.0121	14.13	0.17
									0.17
	<u>LLAVE</u>								
0206000202	ADITIVO CURADOR Z EXPUESTO				GLN	0.0000	0.0500	5.50	0.28
									0.28
	<u>Equipos y Herramientas</u>								
0301000603	BOMBA P/FUMIGAR - CURADO				he	0.0000	0.0121	5.00	0.06
0305000106	HERRAMIENTAS MANUALES				%mo	0.0000	3.0000	0.17	0.01
Partida		2030307		RESANE DE CONCRETO EN LOS EMPALMES					
Rendimiento	m3/DIA	MO	63.0000	EQ.	65.0000	Costo Unitario directo por:	Est.	4,500.00	
H.H	1.0929	H.M					Jornada	8.50	
Código	Descripción Recurso				Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
	<u>Subcontratos</u>								
0402000302	SC RIEGO, NIVELACION Y COMPACTADO CAMA DE APOYO				est.	0.0000	1.0000	4,500.00	4,500.00
Partida		50208		JUNTA DE CONTRACCION CON W.S. DE 6"					
Rendimiento	m/DIA	MO	25.0000	EQ.	25.0000	Costo Unitario directo por:	m	23.62	
H.H	0.3740	H.M					Jornada	8.50	
Código	Descripción Recurso				Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
	<u>Mano de Obra</u>								
0101000301	AYUDANTE				hh	1.0000	0.3400	14.13	4.80
0102000201	CAPATAZ				hh	0.1000	0.0340	26.00	0.88
									5.69
	<u>LLAVE</u>								
0201000215	Sikaflex-1A - JUNTA DE CONTRACCION				m3	0.0000	0.0600	295.00	17.70
									17.70
	<u>Equipos y Herramientas</u>								
0305000106	HERRAMIENTAS MANUALES				%mo	0.0000	4.0000	5.69	0.23
									0.23

ANEXO N° 2 – PRESUPUESTO REFORESTACIÓN

Metrado Areas a Reforestar	
Area 1	7.29 km2
Area 2	0.75 km2
Area 3	1.59 km2
Area 4	3.35 km2
Area 5	0.62 km2
Area 6	0.35 km2
	1395.00 ha

OBRAS DE REFORESTACION

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/	Parcial S/	Parcial S/
01	OBRAS REFORESTACIÓN					
1.01	SEMILLA					S/ 1,666.50
010101	Semilla (Plantones)	plantón	1111.00	S/ 150	S/ 1666.50	
1.02	FERTILIZANTES					S/ 207.00
0102.02	Urea	Bolsa (50 Kg)	100	S/ 67.00	S/ 67.00	
0102.03	Superfosfato triple de Ca	Bolsa (50 Kg)	100	S/ 75.00	S/ 75.00	
0102.04	Sulfato de Potasio	Bolsa (1Kg)	100	S/ 65.00	S/ 65.00	
01.03	PLAGUICIDAS					S/ 350.00
01.03.01	Herbicida					S/ 70.00
0103.0101	Gesaprim	Bolsa (1Kg)	100	S/ 70.00	S/ 70.00	
01.03.02	Insecticida					S/ 270.00
0103.02.01	Stermin	Bolsa (1Kg)	6.00	S/ 45.00	S/ 270.00	
01.03.03	Hongo					S/ 10.00
0103.03.01	Micorriza	bolsa (50 kg)	2.00	S/ 5.00	S/ 10.00	
1.04	AGUA					S/ 137.50
0104.01	Agua	m3	11000.00	S/ 0.01	S/ 137.50	
1.05	PREP. TERRENO					S/ 600.00
0105.01	Limpia de acequias y tomeo	dia	5.00	S/ 15.00	S/ 75.00	
0105.02	Riego de machaco		5.00	S/ 15.00	S/ 75.00	
0105.03	Preparación de hoyos y Aplicación de estiércol	dia	30.00	S/ 15.00	S/ 450.00	
1.06	LABORES CULTUR.					S/ 1,185.00
0106.01	Traslado de Plantones	dia	2.00	S/ 15.00	S/ 30.00	
0106.02	instalación definitiva	dia	10.00	S/ 15.00	S/ 150.00	
0106.03	2do Abonamiento (6°mes)	dia	5.00	S/ 15.00	S/ 75.00	
0106.04	Control sanitario	dia	2.00	S/ 15.00	S/ 30.00	
0106.05	Control de campo	dia	60.00	S/ 15.00	S/ 900.00	
1.07	COSECHA					S/ 75.00
0107.01	Corte	dia	5.00	S/ 15.00	S/ 75.00	
1.08	MECANIZACION					S/ 560.00
0108.01	Aradura, rastra y nivelacion (Campo definitivo)	dia	7.00	S/ 80.00	S/ 560.00	
	TOTAL	S/				S/ 5,131.00

EHS & S

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/	Parcial S/	Total
02	EHS & S					
02.01	GENERALES					S/ 7,670.00
02.0101	MONITOR DE SEGURIDAD	mes	5.00	S/ 1500.00	S/ 7,500.00	
02.0102	EXAMENES MEDICOS OCUPACIONALES STAFF	und	100	S/ 170.00	S/ 170.00	
02.02	EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL					S/ 1,800.00
02.02.02	EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL - OBREROS	lot	100	S/ 1800.00	S/ 1800.00	
02.03	EQUIPO DE PROTECCION COLECTIVA					S/ 1,500.00
02.03.02	SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD	lot	100	S/ 1500.00	S/ 1500.00	
02.04	RESPUESTA ANTE EMERGENCIAS					S/ 1,196.00
02.04.01	MEDICINA (PRIMEROS AUXILIOS)	mes	5.00	S/ 200.00	S/ 1,000.00	
02.04.02	EXTINTOR 12 KG	und	2.00	S/ 98.00	S/ 196.00	
TOTAL						S/ 12,166.00

DATOS DEL PROYECTO				
PROYECTO:	REFORESTACION			
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	ha	S/.	P. PARCIAL S/.
1.00	OBRAS DE REFORESTACION	1,395.00	5,131.00	S/. 7,157,745.00
2.00	SALUD Y SEGURIDAD INDUSTRIAL			S/. 12,166.00
	COSTO DIRECTO			S/. 7,169,911.00
3.00	GASTOS GENERALES DE OBRA		5.00%	S/. 358,495.55
4.00	ADMINISTRACION DE OBRA (9%)		9.00%	S/. 645,291.99
	COSTO INDIRECTO		14.00%	S/. 1,003,787.54
				S/.
	SUBTOTAL			S/. 8,173,698.54
	I.G.V.		18.00%	S/. 1,471,265.74
	TOTAL OBRA (S/.)			S/. 9,644,964.28

ANEXO N° 3 – COTIZACION CLAPETAS ORBINOX

ORBINOX, S.A. Polig. Ind. Anoeta s/n 20270 Anoeta, SPAIN Tel. (943) 69 80 30 Fax. (943) 65 30 66 orbinox@orbinox.com www.orbinox.com	Cliente / Customer Ref. / Ref.	CGAC Represa de Gallito Ciego - PERU
		Fecha / Date Oferta n° / Quotation n°	02/08/2018 18_022946_01

ALIVIADERO

Especificación Válvula / Valve Specification

ITEM	1	
Cantidad / Quantity	12	
Tamaño / Size	5000x3000mm. (ancho x alto)	
Tipo válvula / Valve type	Compuerta de Clapeta Abatible	
	Sobrevertido maximo en operación 5 mts. sobre solera	

Condiciones servicio / Process Data

Fluido / Fluid	Agua	
Sistema / System	Aliviadero	
Presión trabajo / Working pressure	5 metros	

Materiales / Materials

Cuerpo-hierros fijos / Body-fixed parts	Acero al carbono S275JR + Inox AISI 304	
Compuerta / Gate	Acero al carbono S275JR	
Cierre / Seal	EPDM-Inox AISI-304	

Actuador / Actuator

Tipo / Type	Doble cilindro hidráulico D/E	
-------------	-------------------------------	--

Accesorios / Accessories

Finales de carrera / Limit switches	Detectores de proximidad en posiciones abierta / cerrada	
Indicador de posición / Position indicator	Incluido	
Tranductor angular / Angular sensor	Incluido	
Grupo hidráulico (2 motobombas + bomba manual)	Incluido 6 uds. para 2 compuertas	
Armario eléctrico de control de maniobra (PLC)	Incluido 2 uds. para 6 compuertas	

Precio de 12 Compuertas clapeta abatible de 5000x3000 completas + 6 uds. HPU para 2 compuertas + 2 uds. armario eléctrico para 6 compuertas con PLC	1.329.606 €	
Condiciones / Conditions	ExWorks - Anoeta (SPAIN)	
Plazo entrega / Delivery	22-24 semanas tras aprobación de planos (Agosto y Navidades excluido)	
Validez oferta / Validity	3 meses	

Notas / Notes

ASESORAMIENTO EN EL MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE LOS EQUIPOS: 36.600- Euros (incluye maximo 20 dias en obra y 4 viajes i/v)
 Los precios incluyen, ingeniería, fabricación, repuestos, asesoramiento en el montaje, pruebas, puesta en marcha y formación.

ANEXO N° 4 – PLANOS PROPUESTA TÉCNICA

VISTA DESDE AGUAS ARRIBA

INGENIEROS: JORGE ROLANDO API TRELLES DAVID ENRIQUE HORNA LEON		
PROYECTO: PROPUESTA TÉCNICA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CLAPETAS ABATIBLES PARA RECUPERAR VOLUMEN UTIL DE AGUA – EMBALSE GALLITO CIEGO		
CONTENIDO: ARQUITECTURA		
FASE : PROPUESTA	FECHA : DICI 2018	ESCALA : 1/100
REVISIÓN :	PROYECTISTA: J.A.T	LÁMINA : A-01

INGENIEROS: JORGE ROLANDO API TRELLES DAVID ENRIQUE HORNA LEON	
PROYECTO: PROPUESTA TÉCNICA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CLAPETAS ABATIBLES PARA RECUPERAR VOLUMEN UTIL DE AGUA – EMBALSE GALLITO CIEGO	
CONTENIDO: ARQUITECTURA	
FASE: PROPUESTA	ESCALA: 1/100
REVISIÓN: J.A.T	FECHA: DIC 2018

ANEXO N° 5 – MASA MENSUAL DEL RÍO JEQUETEPEQUE 1945 – 2015

MASA MENSUAL DEL RÍO JEQUETEPEQUE PERIODO : 1942 - 2015

MASA MEDIA MENSUAL (MMC) = MILLONES DE METROS CUBICOS

N°		AÑO HIDROLÓGICO	MES												MASA		Total anual Avenidas	MAXIMOS ANUAL	TOTAL ESTACIONAL		MEDIA MOVL
			AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	ANUAL	ANUAL			ENE/MAY	JUN/DIC	
1	1942-43	9.64	6.71	7.20	8.60	6.40	15.80	186.50	262.50	260.80	96.70	36.00	17.10	913.95	822.30	262.50	822.30	155.10	913.30		
2	1943-44	9.60	6.70	22.80	20.00	42.90	30.00	189.90	349.00	103.90	48.50	17.90	12.90	854.10	721.30	349.00	721.30	76.80	771.80		
3	1944-45	9.40	7.80	9.40	3.60	15.80	51.20	198.40	275.90	164.60	47.90	15.30	12.10	811.40	738.00	275.90	738.00	106.00	760.53		
4	1945-46	9.40	7.00	7.20	21.80	33.20	131.20	157.50	166.90	111.20	50.10	23.60	12.30	731.40	616.90	166.90	616.90	106.30	724.63		
5	1946-47	7.00	3.90	13.90	24.40	21.20	25.20	73.50	79.50	137.10	114.90	32.10	18.70	551.40	430.20	137.10	430.20	290.90	665.74		
6	1947-48	12.90	16.30	52.00	78.30	80.60	220.70	101.40	142.50	146.40	59.20	32.10	16.90	959.30	670.20	220.70	670.20	213.50	666.48		
7	1948-49	10.40	9.10	58.40	67.90	18.70	11.80	135.70	421.60	337.50	66.20	29.80	20.90	1,188.00	972.80	421.60	972.80	104.30	710.24		
8	1949-50	12.30	8.00	11.50	18.10	3.70	5.10	52.00	134.20	133.70	48.50	18.70	13.90	459.70	373.50	134.20	373.50	114.20	668.15		
9	1950-51	7.80	5.20	8.00	16.10	44.50	45.40	75.00	86.80	70.00	32.40	13.70	8.60	413.50	309.60	86.80	309.60	130.50	628.31		
10	1951-52	4.80	4.10	7.00	36.30	56.00	123.70	91.70	242.90	257.10	62.90	28.30	15.50	930.30	778.30	257.10	778.30	94.40	643.31		
11	1952-53	10.40	7.30	6.20	2.60	24.10	137.40	532.50	632.60	519.40	87.30	39.10	20.40	2,019.30	1,909.20	632.60	1,909.20	246.90	758.39		
12	1953-54	12.30	13.20	24.60	60.70	76.60	90.30	93.10	200.30	67.70	57.60	18.40	11.80	726.60	509.00	200.30	509.00	144.50	737.61		
13	1954-55	7.80	5.40	30.50	57.50	13.10	76.60	164.30	195.80	111.50	67.20	38.10	16.90	784.70	615.40	195.80	615.40	119.60	728.21		
14	1955-56	11.20	11.90	9.10	8.80	23.60	45.00	166.00	337.50	202.20	56.20	17.40	16.10	905.00	806.90	337.50	806.90	123.70	733.83		
15	1956-57	10.20	7.80	43.70	21.00	7.50	24.40	90.50	352.20	306.90	125.90	56.80	21.20	1,068.10	899.90	352.20	899.90	175.40	744.90		
16	1957-58	14.50	13.70	10.70	28.00	30.50	102.00	74.00	217.50	135.30	88.10	37.80	16.60	768.70	616.90	217.50	616.90	97.70	736.90		
17	1958-59	12.10	7.50	13.70	4.90	5.10	6.40	56.90	249.40	190.30	120.80	34.50	16.90	718.50	623.80	249.40	623.80	168.10	730.25		
18	1959-60	10.40	6.70	13.10	23.60	62.90	53.60	122.70	194.20	152.70	75.30	25.10	13.10	753.40	598.50	194.20	598.50	98.50	722.93		
19	1960-61	8.60	8.00	8.30	14.00	21.40	84.10	88.80	148.40	123.40	64.00	28.70	10.20	607.90	508.70	148.40	508.70	71.50	711.65		
20	1961-62	4.80	4.10	2.90	3.90	16.90	91.90	172.00	275.90	226.80	73.90	28.30	11.50	912.90	840.50	275.90	840.50	64.80	718.10		
21	1962-63	7.80	5.40	4.30	5.40	2.10	3.50	12.30	212.10	181.40	50.60	16.10	8.60	509.60	459.90	212.10	459.90	120.20	705.80		
22	1963-64	7.80	3.40	5.90	20.00	58.40	90.50	99.40	133.90	197.80	72.60	22.60	12.90	725.20	594.20	197.80	594.20	147.00	700.73		
23	1964-65	11.80	9.10	19.30	56.80	14.50	17.10	27.60	326.50	237.70	82.80	24.40	13.70	841.30	691.70	326.50	691.70	173.80	700.33		
24	1965-66	7.50	9.10	34.30	60.70	24.10	126.20	56.60	65.30	58.60	47.90	16.80	8.30	515.40	354.60	126.20	354.60	95.20	685.93		
25	1966-67	5.10	3.60	27.10	24.10	10.20	91.30	304.10	298.10	94.30	49.00	23.60	15.00	945.50	836.80	304.10	836.80	90.50	691.96		
26	1967-68	8.60	5.40	19.00	12.20	6.70	8.00	17.90	64.50	29.30	12.60	7.00	4.00	195.20	132.30	64.50	132.30	76.40	670.44		
27	1968-69	2.10	4.40	30.30	17.90	10.70	24.40	65.10	129.90	196.50	34.00	19.40	6.40	541.10	449.90	196.50	449.90	151.60	662.27		
28	1969-70	3.50	2.10	5.90	25.40	88.90	109.00	49.60	105.30	86.10	101.50	29.30	11.80	618.40	451.50	109.00	451.50	215.20	654.74		
29	1970-71	6.40	7.50	27.30	53.10	79.80	49.30	74.80	396.70	347.10	79.50	35.30	20.10	1,176.90	947.40	396.70	947.40	219.20	664.83		
30	1971-72	15.80	13.00	41.80	40.40	52.80	77.40	68.70	366.90	200.40	73.10	34.00	16.60	1,000.90	786.50	366.90	786.50	127.00	668.89		
31	1972-73	12.10	9.60	9.60	11.10	34.00	126.40	87.30	230.60	432.30	132.30	47.40	28.70	1,161.40	1,008.90	432.30	1,008.90	341.00	679.86		
32	1973-74	19.00	35.00	62.40	77.50	71.00	119.20	202.70	201.10	76.20	38.60	23.60	13.10	939.40	637.80	202.70	637.80	131.10	678.54		

N°	AÑO HIDROLÓGICO	MES												MASA ANUAL	Total anual Avenidas	MAXIMOS ANUAL	TOTAL ESTACIONAL		MEDIA MOVL
		AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL				ENE/MAY	JUN/JUL	
33	1974-75	7.00	7.50	34.00	20.20	25.70	54.10	143.90	346.30	266.70	90.50	44.80	22.40	1,063.10	901.50	346.30	901.50	225.00	685.30
34	1975-76	13.40	17.10	62.40	45.60	19.30	79.30	149.70	229.50	129.10	65.40	34.50	11.80	857.10	653.00	229.50	653.00	73.10	684.35
35	1976-77	7.50	4.70	3.70	4.70	6.20	79.50	293.70	197.10	153.40	61.60	29.80	13.10	855.00	785.30	293.70	785.30	111.90	687.20
36	1977-78	5.90	7.80	7.80	15.80	33.50	15.80	20.10	27.90	52.60	57.30	18.70	7.50	268.90	173.70	57.30	173.70	61.80	672.97
37	1978-79	3.70	3.40	2.90	9.30	16.30	30.30	63.90	331.90	76.70	35.40	16.10	6.70	596.60	538.20	331.90	538.20	41.40	669.33
38	1979-80	4.00	8.00	3.50	1.80	1.30	2.70	9.20	23.00	31.10	8.80	5.40	1.10	99.90	74.80	31.10	74.80	147.60	653.68
39	1980-81	0.00	0.00	14.90	40.20	86.00	28.40	250.40	260.90	67.90	31.10	18.70	9.40	807.90	638.70	260.90	638.70	149.20	653.30
40	1981-82	3.70	3.60	17.70	40.70	55.40	34.30	71.90	54.60	86.10	45.30	20.50	8.80	442.60	292.20	86.10	292.20	261.30	644.27
41	1982-83	3.50	3.60	35.90	44.60	144.40	228.70	120.20	466.60	395.30	218.00	71.50	33.50	1,765.80	1,428.80	466.60	1,428.80	249.10	663.40
42	1983-84	15.50	15.80	21.70	17.40	73.70	42.30	455.50	463.40	175.70	176.20	60.10	35.10	1,552.40	1,313.10	463.40	1,313.10	242.50	678.87
43	1984-85	13.70	11.40	48.50	22.80	50.90	29.50	43.50	63.50	38.90	23.30	12.40	6.40	364.80	198.70	63.50	198.70	59.50	667.71
44	1985-86	3.50	4.10	6.70	3.40	23.00	61.30	61.20	54.60	178.10	56.50	17.40	7.50	477.30	411.70	178.10	411.70	75.70	661.89
45	1986-87	3.20	2.90	4.00	18.70	22.00	153.20	138.90	82.20	53.40	50.40	13.20	5.90	548.00	478.10	153.20	478.10	78.50	657.80
46	1987-88	5.60	2.30	11.60	16.30	23.60	69.60	128.70	77.90	101.40	49.40	20.80	6.50	513.70	427.00	128.70	427.00	103.50	652.79
47	1988-89	1.80	1.80	10.90	36.70	25.00	98.20	265.40	271.30	227.00	64.10	23.50	12.90	1,038.60	926.00	271.30	926.00	153.80	658.60
48	1989-90	6.00	9.20	56.10	35.00	11.10	16.00	44.40	41.60	37.20	28.00	13.60	5.90	304.10	167.20	56.10	167.20	141.50	648.36
49	1990-91	1.00	2.90	27.60	44.00	46.50	15.20	23.50	135.30	73.50	51.90	12.90	4.60	438.90	299.40	135.30	299.40	41.60	641.24
50	1991-92	1.10	0.90	2.90	5.70	13.50	39.20	18.00	55.00	109.70	45.30	19.80	4.40	315.50	267.20	109.70	267.20	69.50	633.76
51	1992-93	1.10	3.00	14.20	16.60	10.40	10.30	121.90	446.10	292.90	90.30	30.80	12.90	1,050.50	961.50	446.10	961.50	268.20	640.19
52	1993-94	5.40	7.00	44.70	92.00	75.40	187.20	203.00	320.80	300.50	95.90	42.40	41.70	1,416.00	1,107.40	320.80	1,107.40	155.10	649.17
53	1994-95	6.40	8.00	10.00	17.10	29.50	24.30	114.70	117.10	107.50	38.60	15.10	8.70	497.00	402.20	117.10	402.20	122.35	644.51
54	1995-96	4.50	3.40	6.70	35.08	48.87	104.84	178.13	311.95	172.40	50.87	23.08	9.33	949.15	818.19	311.95	818.19	80.18	647.73
55	1996-97	3.71	4.46	17.00	15.40	7.20	9.20	65.90	51.70	40.20	30.20	11.00	3.90	259.87	197.20	65.90	197.20	261.50	639.54
56	1997-98	1.00	1.20	7.20	42.60	194.60	308.90	557.00	861.00	450.00	169.60	56.10	27.40	2,676.60	2,346.50	861.00	2,346.50	175.72	670.02
57	1998-99	15.40	11.30	19.81	32.50	13.21	41.15	398.75	294.81	164.46	133.32	60.50	38.99	1,224.20	1,032.49	398.75	1,032.49	293.47	676.38
58	1999-2000	11.10	28.43	44.09	24.81	85.55	35.46	183.04	437.81	226.44	174.29	63.62	25.82	1,340.46	1,057.04	437.81	1,057.04	184.91	682.94
59	2000-2001	11.45	12.31	11.80	5.29	54.62	238.22	200.12	636.50	331.13	108.43	56.57	26.86	1,693.30	1,514.40	636.50	1,514.40	250.47	697.03
60	2001-2002	13.40	18.95	14.78	55.70	64.21	44.91	98.32	413.16	337.02	78.78	35.78	14.72	1,189.73	972.19	413.16	972.19	297.49	701.62
61	2002-2003	7.31	6.39	23.34	69.71	140.24	88.29	119.84	136.08	124.43	59.05	28.06	10.66	813.40	527.69	140.24	527.69	88.64	698.77
62	2003-2004	3.68	3.13	4.83	15.78	22.50	30.39	70.68	90.36	82.53	31.35	11.87	4.94	361.85	295.12	90.36	295.12	183.01	692.26
63	2004-2005	1.41	2.81	14.14	55.62	92.22	72.87	52.59	265.68	123.69	39.47	11.97	5.45	737.92	554.30	265.68	554.30	83.07	690.07
64	2005-2006	2.02	1.87	16.13	15.24	23.82	130.51	298.69	579.52	295.12	53.38	29.58	11.87	1,236.88	1,129.78	579.52	1,129.78	157.10	696.94
65	2006-2007	7.60	7.30	5.71	19.40	75.64	100.96	75.34	263.96	234.23	71.75	22.20	10.50	894.59	746.24	263.96	746.24	133.36	697.70
66	2007-2008	6.54	4.92	13.70	51.68	23.82	130.51	298.69	359.03	307.05	110.00	43.33	18.01	1,367.28	1,205.28	359.03	1,205.28	224.14	705.39
67	2008-2009	12.70	13.59	38.94	67.05	30.52	150.33	322.78	439.20	240.97	104.15	42.77	23.59	1,486.59	1,257.43	439.20	1,257.43	283.15	713.63
68	2009-2010	12.84	8.37	16.51	47.89	131.18	57.13	132.09	174.33	209.62	97.37	27.29	17.16	931.78	670.54	209.62	670.54	104.53	712.99
69	2010-2011	7.17	6.51	8.37	16.29	21.74	57.51	100.19	89.89	254.76	62.18	18.34	11.31	654.25	564.52	254.76	564.52	124.36	710.84
70	2011-2012	6.70	6.43	9.32	15.81	56.45	189.14	343.66	242.61	198.63	110.95	34.37	18.46	1,232.53	1,084.99	343.66	1,084.99	193.35	716.19
71	2012-2013	10.59	7.37	20.68	65.05	36.83	56.87	100.65	409.32	163.45	78.25	46.84	16.17	1,012.07	808.54	409.32	808.54	146.42	717.49
72	2013-2014	7.10	4.22	17.44	14.45	40.20	47.18	47.96	236.81	70.27	92.53	23.31	9.17	610.64	494.75	236.81	494.75	95.74	714.39
73	2014-2015	4.34	5.05	9.07	19.25	25.55	94.61	95.58	404.05	230.44	77.18	31.59	12.50	1,009.21	901.86	404.05	901.86	109.05	716.96
74	2015-2016	5.41	3.27	5.08	24.14	27.06	26.75	127.79	171.45	122.21	32.92	14.23	5.55	565.86	481.12	171.45	481.12	19.78	713.77
MAXIMA		19.00	35.00	62.40	92.00	194.60	308.90	557.00	861.00	519.40	218.00	71.50	41.70	2,676.60	2,346.50	861.00	2,346.50	341.00	913.30
MEDIA		7.65	7.54	19.52	28.97	40.96	71.94	135.27	244.70	175.89	70.80	28.05	14.21	852.54	705.39	263.96	705.39	149.03	687.65
MINIMA		0.00	0.00	2.90	1.80	1.30	2.70	9.20	23.00	29.30	8.80	5.40	1.10	99.90	74.80	31.10	74.80	41.40	628.31
DESV. ESTAND		4.35	5.93	16.06	21.40	36.81	62.54	113.39	165.99	110.75	40.18	14.64	8.46	445.81	392.45	153.30	392.45	71.49	41.82

ANEXO N° 6

N°	AÑO	MES												MASA	Total anual		MAXIMOS	TOTAL ESTACIONAL		MEDIA	
		AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL		Avenidas			ANUAL	ENEMAY	JUNDIC	MOVIL
47	1988-89	1.80	1.80	10.90	36.70	25.00	98.20	265.40	271.30	227.00	64.10	23.50	12.90	1,038.60	926.00	✓	271.30	926.00	✓	153.80	658.60
48	1989-90	6.00	9.20	56.10	35.00	11.10	16.00	44.40	41.60	37.20	28.00	13.60	5.90	304.10	167.20	✓	56.10	167.20	✓	141.50	648.36
49	1990-91	1.00	2.90	27.60	44.00	46.50	15.20	23.50	135.30	73.50	51.90	12.90	4.60	438.90	299.40	✓	135.30	299.40	✓	41.60	641.24
MAXIMA		19.00	35.00	62.40	92.00	194.60	308.90	557.00	861.00	519.40	218.00	71.50	41.70	2,676.60	2,346.50		861.00	2,346.50		341.00	913.30
MEDIA		7.65	7.54	19.52	28.97	40.96	71.94	135.27	244.70	175.89	70.80	28.05	14.21	852.54	705.39		263.96	705.39		149.03	687.65
MINIMA		0.00	0.00	2.90	1.80	1.30	2.70	9.20	23.00	29.30	8.80	5.40	1.10	99.90	74.80		31.10	74.80		41.40	628.31
DES/ ESTAND		4.35	5.93	16.06	21.40	36.81	62.54	113.39	165.99	110.75	40.18	14.64	8.46	445.81	392.45		153.30	392.45		71.49	41.82

ANEXO N° 7 – CUADRO: SEDIMENTO EN SUSPENSIÓN RETENIDO EN EL
EMBALSE GALLITO CIEGO PERIODO 1987-2015

AÑO	VOLUMEN MENSUAL DE SÓLIDOS RETENIDOS EN m³												VOLUMEN	
	IDROLÓGIC	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	ANUAL (m3)
1987/88	23.9	2,371.9	182.4	34,163.3	40,626.4	7,859.3	27,133.0		1,251.7	95.9	-54.7	-78.2	-71.4	113,503.4
1988/89	245.5	3,064.8	827.4	24,552.4	363,683.4	752,194.0	132,066.2		784.6	9.0	-190.2	-177.7	-99.0	1,277,000.5
1989/90	20,652.4	6,065.3	-404.6	572.2	22,618.4	6,590.4	1,302.5		583.5	136.4	-95.4	-64.1	4.7	57,961.6
1990/91	2,465.6	27,538.4	27,798.7	-1,617.3	10,300.2	247,216.8	15,306.1		4,458.0	274.9	-94.1	-75.5	-30.2	333,541.7
1991/92	259.9	310.8	1,124.6	15,581.9	17,701.1	170,774.4	346,192.9		22,464.9	1,188.8	-65.7	-89.7	34.4	575,478.2
1992/93	1,705.5	1,527.3	75.5	262.2	703,873.3	2,862,229.6	402,887.1		13,376.7	275.5	-280.4	-113.7	-10.0	3,985,808.6
1993/94	12,431.1	58,289.6	17,885.2	79,625.9	227,945.2	799,333.3	537,486.7		14,294.8	2,147.4	620.7	-97.8	-80.7	1,749,881.5
1994/95	-155.4	601.5	4,203.3	694.4	91,215.1	39,925.6	52,970.4		1,343.4	97.8	-24.6	-117.4	45.3	190,799.4
1995/96	424.8	3,566.1	11,658.4	31,776.4	531,506.1	553,017.9	84,956.9		1,531.6	977.3	-100.8	-59.6	-179.4	1,219,075.7
1996/97	1,123.3	-205.1	-1,136.0	-303.0	20,633.2	10,795.6	23,535.7		2,338.4	171.1	-109.9	-139.3	-32.3	56,671.6
1997/98	2,466.2	39,085.3	381,797.9	1,777,632.9	6,082,650.7	14,069,709.6	2,935,094.2		-1,134,948.8	567.9	184.4	157.5	-17.9	24,154,379.9
1998/99	7,514.5	3,686.0	417.2	18,199.6	2,795,846.9	577,081.3	80,793.9		52,644.6	4,598.1	1,087.1	10.1	6,879.0	3,548,758.4
1999/00	10,878.1	2,152.9	21,520.3	3,832.5	238,725.0	2,123,956.6	183,510.2		64,033.9	1,077.5	-37.7	-76.4	413.0	2,649,985.8
2000/01	229.4	-519.0	11,732.0	258,181.4	191,880.7	4,194,166.6	517,143.4		10,789.4	3,234.5	650.5	136.7	861.5	5,188,487.1
2001/02	-737.1	31,561.1	16,748.2	2,552.7	65,227.2	1,285,928.6	921,397.0		1,953.4	1,119.1	47.3	-277.8	-347.8	2,325,171.9
2002/03	2,902.2	14,692.9	52,816.8	11,676.5	41,922.5	63,840.3	23,695.1		3,845.0	1,445.5	-36.5	-195.1	-72.6	216,532.6
2003/04	-238.6	944.1	3,577.2	-82.0	11,288.4	18,823.0	29,992.3		2,532.1	791.9	-37.3	-149.9	-63.5	67,377.6
2004/05	1,550.5	12,409.7	28,828.7	18,598.8	4,102.3	379,789.3	46,905.4		551.9	102.4	-79.0	-36.4	-95.4	492,628.0
2005/06	738.3	-755.2	4,172.1	18,911.9	355,179.2	3,218,277.3	714,900.4		2,670.8	566.8	-254.0	-91.6	145.3	4,314,461.2
2006/07	-289.0	1,280.0	40,210.9	22,634.4	5,050.3	583,822.1	238,887.3		9,061.9	361.5	-80.9	-231.9	-110.3	900,596.3
2007/08	612.8	4,909.5	-240.4	26,736.3	985,460.0	1,115,958.2	912,139.0		13,365.7	1,112.5	409.9	43.6	518.9	3,061,025.8
2008/09	5,909.7	8,983.5	237.7	118,034.8	548,004.8	1,347,149.1	148,033.0		8,787.8	1,539.6	599.4	94.8	-116.5	2,187,257.6
2009/10	319.5	20,191.9	30,054.8	8,497.5	89,706.8	240,346.6	216,009.5		17,813.4	513.3	-70.8	-25.0	6.2	623,363.8
2010/11	203.4	1,963.0	1,535.3	13,471.2	-25,339.0	26,308.2	228,340.3		2,024.0	-191.8	-58.2	-133.1	-193.8	247,927.4
2011/12	-83.4	262.0	5,533.9	57,713.0	758,139.4	380,920.4	84,728.5		10,642.1	929.6	325.8	115.5	-57.3	1,299,167.6
2012/13	1,828.2	7,470.6	784.9	4,193.0	58,178.1	1,309,167.6	44,106.7		5,115.6	1,220.2	137.7	-131.7	-279.0	1,431,791.9
2013/14	1,121.5	-274.8	3,144.2	4,742.5	10,385.1	174,469.1	4,721.8		10,516.9	243.4	-27.1	-62.5	-47.6	208,932.6
2014/15	219.9	899.5	2,897.0	34,482.8	33,493.8	1,572,885.0	207,299.3		5,106.5	1,709.9	-198.4	-260.5		1,858,534.9
MAXIMO	20,652.4	58,289.6	381,797.9	1,777,632.9	6,082,650.7	14,069,709.6	2,935,094.2		64,033.9	4,598.1	1,087.1	157.5	6,879.0	24,154,379.9
MINIMO	-737.1	-755.2	-1,136.0	-1,617.3	-25,339.0	6,580.4	1,302.5		-1,134,948.8	-191.8	-280.4	-277.8	-347.8	56,671.6

Fuente: PEJEZA

ANEXO N° 8 – PROMEDIO MENSUAL DE SEDIMENTOS TRANSPORTADOS,
PERIODO 1965 – 2014 (TON)

AFLUENTES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
ALTO RIO MAGDALENA	147110	443008	679956	331365	70638	17661	7875	3886	3520	10497	14483	40600	1770597
ALTO RIO REJO	1980	2935	3456	1552	602	110	39	26	70	291	969	1540	13569
QDA HONDA	692	1095	1382	669	265	47	14	9	26	98	287	485	5068
RIO CHANTA	98743	356167	556636	218451	33700	8100	3517	1809	1583	4896	6707	21922	1312229
RIO CHETILANO	67368	109809	154766	76620	25903	3404	953	553	1815	4582	16136	42735	504643
RIO CHILETE	146892	456839	678569	267884	50195	9894	3972	2069	6290	18327	27571	57404	1725905
RIO CONTUMAZA	23409	97743	112199	88055	38848	11662	2221	134	23	54	53	3503	377906
RIO HUERTAS	1682	21242	15604	9752	1538	273	107	44	30	59	71	173	50576
RIO LLAMINCHAN	23710	42424	55563	23022	7593	1187	422	303	4077	12069	14553	18531	203454
RIO PALLAC	11007	53174	91267	45684	17488	5179	810	28	13	25	20	4805	229500
RIO SAN MIGUEL	7608	12576	16491	9348	3016	463	149	88	226	1111	2948	5199	59223
RIO YANAHUANGA	1235	2096	3066	1637	324	53	23	12	35	195	278	662	9616

ANEXO N° 9 – DRAGADO

PRESUPUESTO ANUAL

Unidad	Descripción	Precio	Medición	Importe
	CAPÍTULO 1.- DRAGADO Y APORTACIÓN DE ARENA			
M3	ARENA DRAGADA MEDIANTE DRAGA DE SUCCIÓN, CARGADA SOBRE CÁNTARA EN EMBARCACIÓN, Y BOMBEADA SOBRE PLAYA EN SECO, INCLUSO TRANSPORTE DE ORIGEN A DESTINO, EXTENDIDO Y PERFILADO DE PLAYA (P01).	4,25 €	45.000,00	191.250,00
UD	MOVIMIENTO DE MANGUERA INTER-PLAYAS CONSISTENTE EN: VACIADO, DESMONTAJE, ARRASTRE, MONTAJE Y COLOCACIÓN (P02).	3.890,00 €	8,00	31.120,00
	TOTAL CAPÍTULO 1.- DRAGADO Y APORTACIÓN DE ARENA			222.370,00
	CAPÍTULO 2.- SEGURIDAD Y SALUD			
PA	SEGURIDAD Y SALUD (P03).	3.980,00	1,00	3.980,00
	TOTAL CAPÍTULO 2.- SEGURIDAD Y SALUD			3.980,00
	CAPÍTULO 3.- SEGUIMIENTO Y CONTROL			
PA	SEGUIMIENTO Y CONTROL DE LOS TRABAJOS DE DRAGADO Y APORTACIÓN. Incluye la redacción de un informe final (P04).	9.200,00	1,00	9.200,00
PA	SEGUIMIENTO Y CONTROL MEDIOAMBIENTAL. Incluye todas las analíticas necesarias y la redacción de un informe de conclusiones final (P05).	10.990,00	1,00	10.990,00
	TOTAL CAPÍTULO 3.- SEGUIMIENTO Y CONTROL			20.190,00

Año de Operación	Escorrentía Anual (MMC)	Volumen del Embalse	Descarga Anual de Sólidos													
			Sólidos en Suspensión				Acarreo Va (MMC)	Total (MMC)	Masa Cumulativa (MMC)	Retención de Sólidos			Colmatación Cumulativa (MMC)	Cronológica Anual (MMC)		
			Masa Gs (1000Tn)	Peso Volumétrico (kg/m3)	Volumen Vs (MMC)	Finos (MMC)				Acarreo (MMC)	Total Anual (MMC)					
2002/03	806.60	15738.90	484.92	207.98	1350.00	0.15	0.71	0.86	63.83	0.15	0.71	0.86	60.64	74.12		
2003/04	626.70	16365.60	484.06	406.84	1350.00	0.30	0.58	0.88	64.71	0.29	0.58	0.87	61.51	71.93		
2004/05	1191.80	17557.40	483.19	5233.15	1350.00	3.88	1.12	5.00	69.71	3.68	1.12	4.80	66.31	80.95		
2005/06	993.70	18551.10	478.39	2024.73	1350.00	1.50	0.94	2.44	72.15	1.43	0.94	2.37	68.68	80.45		
2006/07	1193.60	19744.70	476.02	4162.40	1350.00	3.08	1.14	4.22	76.37	2.93	1.14	4.07	72.75	85.99		
2007/08	906.34	20651.04	471.95	935.48	1350.00	0.69	0.86	1.55	77.92	0.66	0.86	1.52	74.27	83.56		
2008/09	1081.20	21732.24	470.43	3628.69	1350.00	2.69	1.03	3.72	81.64	2.56	1.03	3.59	77.86	88.77		
2009/10	839.00	22571.24	466.84	461.01	1350.00	0.34	0.75	1.09	82.74	0.33	0.75	1.08	78.94	85.91		
2010/11	852.80	23424.04	465.76	1130.54	1350.00	0.84	0.79	1.63	84.36	0.80	0.79	1.59	80.53	86.72		
2011/12	262.00	23686.04	464.17	40.54	1350.00	0.03	0.25	0.28	84.64	0.03	0.25	0.28	80.81	84.93		
2012/13	607.40	24293.44	463.89	895.13	1350.00	0.66	0.59	1.25	85.90	0.64	0.59	1.23	82.04	86.18		
2013/14	84.00	24377.44	462.66	76.58	1350.00	0.06	0.07	0.13	86.02	0.06	0.07	0.13	82.17	84.99		
2014/15	816.60	25194.04	462.53	1928.02	1350.00	1.43	0.80	2.23	88.25	1.37	0.80	2.17	84.34	88.95		
2015/16	444.80	25638.84	460.36	115.64	1350.00	0.09	0.40	0.49	88.74	0.08	0.40	0.48	84.82	87.66		
2016/17	1880.80	27519.64	459.88	13000.02	1350.00	9.63	1.90	11.53	100.27	8.97	1.90	10.87	95.69	114.67		
2017/18	1548.00	29067.64	449.01	6411.17	1350.00	4.75	1.52	6.27	106.54	4.45	1.52	5.97	101.66	119.71		
2018/19	343.20	29410.84	443.04	99.19	1350.00	0.07	0.29	0.36	106.90	0.07	0.29	0.36	102.02	112.57		
2019/20	500.30	29911.14	442.68	312.81	1350.00	0.23	0.48	0.71	107.61	0.23	0.48	0.71	102.73	110.44		
2020/21	550.20	30461.34	441.97	708.71	1350.00	0.52	0.53	1.05	108.67	0.51	0.53	1.04	103.77	110.28		
2021/22	509.40	30970.74	440.93	160.28	1350.00	0.12	0.47	0.59	109.25	0.12	0.47	0.59	104.35	109.20		
2022/23	1069.30	32040.04	440.35	1753.94	1350.00	1.30	1.07	2.37	111.62	1.23	1.07	2.30	106.66	112.58		
2023/24	292.80	32332.84	438.04	84.15	1350.00	0.06	0.25	0.31	111.94	0.06	0.25	0.31	106.97	110.90		
2024/25	437.00	32769.84	437.73	487.92	1345.10	0.36	0.38	0.74	112.68	0.35	0.38	0.73	107.70	111.15		
2025/26	317.60	33087.44	437.00	787.06	1317.61	0.60	0.29	0.89	113.57	0.58	0.29	0.87	108.57	111.96		
2026/27	1058.80	34146.24	436.13	4943.06	1287.72	3.84	1.01	4.85	118.41	3.65	1.01	4.66	113.23	121.81		

Descarga Anual de Sólidos															
Año de Operación	Escorrentía Anual (MMC)	Volumen del Embalse	Sólidos en Suspensión				Acarreo Va	Total	Masa	Retención de Sólidos			Cronológica Anual		
			Volumen		Total	Acarreo (MMC)				Finos (MMC)	Cumulativa (MMC)				
			Vh	Ve			Gs	Peso	Vs						
			(MMC)	(MMC)	(1000Tn)	(kg/m3)	(MMC)	(MMC)	(MMC)	(MMC)	(MMC)	(MMC)	(MMC)	(MMC)	(MMC)
2027/28	1416.00	35562.24	431.47		2391.03	1254.99	1.91	1.34	3.25	121.66	1.79	1.34	3.13	116.36	123.83
2028/29	490.00	36052.24	428.34		266.95	1218.80	0.22	0.45	0.67	122.33	0.21	0.45	0.66	117.02	121.55
2029/30	949.50	37001.74	427.68		1677.44	1178.35	1.42	0.89	2.31	124.64	1.36	0.89	2.25	119.27	124.27
2030/31	253.80	37255.54	425.43		84.34	1132.49	0.07	0.24	0.31	124.96	0.07	0.24	0.31	119.58	122.65
2031/32	2701.20	39956.74	425.12		35027.97	1079.54	32.45	2.76	35.21	160.16	29.38	2.76	32.14	151.72	192.72
2032/33	1237.10	41193.84	392.98		4883.29	1016.92	4.80	1.18	5.98	166.15	4.51	1.18	5.69	157.42	179.95
2033/34	1324.70	42518.54	387.28		3553.48	1016.92	3.78	1.25	5.03	171.18	3.54	1.25	4.79	162.21	177.07
2034/35	1703.90	44222.44	382.49		7265.85	1016.92	8.63	1.68	10.31	181.49	8.01	1.68	9.69	171.90	185.42
2035/36	1171.20	45393.64	372.80		2225.15	1016.92	3.17	1.12	4.29	185.78	2.98	1.12	4.10	176.00	181.94
2036/37	806.60	46200.24	368.70		207.98	1016.92	0.45	0.71	1.16	186.94	0.43	0.71	1.14	177.14	177.14
TOTAL:	46200.24				173170.43		142.71	44.22	186.94		132.91	44.22	177.14		