



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil**

**TESIS**

**SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE SEDIMENTACIÓN  
DE LA REPRESA GALLITO CIEGO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**Autora:**

**Br. Vásquez Rivera Marcelita del Pilar**

**Asesor:**

**Ing. Arriola Carrasco Guillermo Gustavo**

**Línea de Investigación  
Ingeniería de procesos hidráulica**

**Pimentel – Perú**

**2016**

# **SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE SEDIMENTACIÓN DE LA REPRESA GALLITO CIEGO**

## **APROBACIÓN DE TESIS**

---

Dr. Omar Coronado Zuloeta

**Presidente del Jurado de Tesis**

---

M.Sc. Wilmer Moisés Zelada Zamora

**Secretario del Jurado de Tesis**

---

Ing. Guillermo Gustavo Arriola Carrasco

**Vocal del Jurado de Tesis**

## DEDICATORIA

Mamá!, sabias que te admiro?; eres una mujer emprendedora que no dejas abatirte por los problemas. Desde que nací, desde ese momento e incluso antes que eso, ya estabas buscando maneras de ofrecerme lo mejor. Han pasado los años y sigues trabajando duro para seguir adelante. Ahora, eres la razón de este gran paso.

Te quiero, Mami.

Lisset, desde que tengo memoria has estado en mi vida, compartiendo momentos inolvidables, buenos y malos, traviosos e inocentes, siempre juntas a pesar de nuestros enfrentamientos. Hoy eres parte de esto y me alegra que sigamos juntas.

Te quiero, Hermanita.

Jazmine, como olvidar a mí adorada hermanita, la gran alegría de nuestra familia, que con su contagiante sonrisa brinda felicidad a su paso. Me siento feliz de tu llegada bebida hermosa, feliz que estés con nosotras, formando parte de nuestras vidas.

Te quiero, hermanita.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi madre por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ella, entre los que se incluye éste. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos. A mis queridas hermanas, que a pesar que tengamos nuestras eventuales discusiones y malos encuentros, han sido las principales personas involucradas en apoyarme en este acontecimiento importante de mi vida.

Al Ing. Eduardo Graña Luza Phd., gerente de Ingeniería de la empresa INKA PERU CONSULTORES S.A.C., por ser el principal apoyo en la culminación de este proyecto, que con su tiempo y motivación, se realizó.

A la Universidad Señor de Sipán por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional; así como también a los diferentes docentes que me brindaron sus conocimientos y contribuyendo a mi desarrollo profesional. Al ingeniero Guillermo Gustavo Arriola Carrasco, asesor del Tesis, por su orientación para la realización del presente trabajo.

Al equipo del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Escuela Profesional Ingeniería Civil involucrados en la toma y procesamiento de las muestras para la realización de este trabajo, mis agradecimientos por su colaboración.

Al Proyecto Especial Jequetepeque – Zaña (PEJEZA), Gerencia de Operación y Mantenimiento (GOM), Autoridad Nacional del Agua (ANA), expreso mi gratitud por el apoyo y la confianza que me brindaron de forma desinteresada.

A las empresas SEDICON AS, AQUA PLAN INGENIEROS S.A.C., INKA PERU CONSULTORES S.A.C. Y A LA EMPRESA LIVABU S.A.C., expreso mi gratitud por brindarme su tiempo y apoyo en la realización de este trabajo.

**GRACIAS.**

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
RESUMEN .....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
CAPITULO I	
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	
1.1. Situación Problemática .....	20
1.1.1. A Nivel Internacional.....	20
1.1.2. A nivel nacional.....	24
1.1.3. A Nivel Local.....	25
1.1.3.1 Antecedentes Generales.....	25
1.1.3.1.1 PEJEZA - Proyecto Especial Jequetepeque Zaña.....	25
1.1.3.2. Hidrología de la Cuenca Jequetepeque .....	30
1.1.3.3. La Represa Gallito Ciego .....	33
1.2. Formulación del Problema .....	37
1.3. Delimitación de la Investigación.....	37
1.4. Justificación e Importancia de la Investigación .....	37
1.4.1. Justificación Técnica.....	37
1.4.2. Justificación Ambiental .....	39
1.4.3. Justificación Socioeconómica.....	39
1.5. Limitaciones de la Investigación.....	40
1.6. Objetivos de la Investigación .....	41
1.6.1. Objetivo General.....	41
1.6.2. Objetivos Específicos .....	42
CAPITULO II	
MARCO TEORICO	
2.1. Antecedentes de Estudio .....	44
2.1.1. A Nivel Internacional.....	44
2.1.2. A Nivel Nacional .....	46
2.1.3. A Nivel Local.....	48

2.2. Estado del Arte .....	52
2.3. Bases Teórico Científicas .....	53
2.3.1. La sedimentación en embalses .....	53
2.3.1.1. Sedimentación, proceso y depósito.....	53
2.3.1.2. Origen y propiedades de los sedimentos .....	55
2.3.1.3. Fuentes de los sedimentos.....	55
2.3.1.4. Propiedades de los sedimentos .....	56
2.3.1.5. Transporte de sedimentos.....	58
2.3.1.6. Formas en que se deposita el sedimento en un embalse .....	60
2.3.1.6.1. Zonas de depósito.....	61
2.3.1.6.2. Geometría de las zonas de depósito longitudinal.....	61
2.3.1.6.3. Esquemas de depósito lateral .....	62
2.3.1.7. Cálculo del aporte de sedimentos .....	64
2.3.2. Métodos para extracción de sedimentos. ....	67
2.3.2.1. Remoción de sedimentos. ....	67
2.3.2.1.1. Métodos para prevenir la entrada de sedimentos al embalse. ....	67
2.3.2.2. Sistemas para el control de la sedimentación. ....	68
2.3.2.2.1. Métodos indirectos. ....	68
2.3.2.2.2. Métodos de diseño.....	69
2.3.2.2.3. Soluciones directas. ....	69
2.4. Definición de la Terminología.....	105
<b>CAPITULO III</b>	
<b>MARCO METODOLÓGICO</b>	
3.1. Tipo y Diseño de Investigación .....	107
3.1.1. Tipo de investigación .....	107
3.1.2. Diseño de la investigación .....	107
3.2. Población y muestra .....	107
3.3. Hipótesis .....	107
3.4. Variables.....	107
3.5. Operacionalización .....	108
3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	109
3.6.1. Métodos de investigación .....	109
3.6.2. Técnicas de recolección .....	109

3.6.3.	Instrumentos de recolección de datos .....	110
3.6.4.	Descripción de los instrumentos utilizados .....	110
3.7.	Procedimiento para la Recolección de Datos .....	111
3.7.1.	Diagrama de flujo de procesos .....	112
3.7.2.	Descripción de procesos .....	113
3.7.3.	Costos .....	121
3.7.4.	Normatividad .....	122
3.8.	Análisis Estadístico e Interpretación de Datos .....	122
3.8.1.	Enfoque cualitativo .....	122
3.8.2.	Enfoque cuantitativo .....	122
3.9.	Principios Éticos.....	123
3.9.1.	Ética de la recolección de datos .....	123
3.9.2.	Ética de la publicación .....	123
3.9.3.	Ética de la aplicación .....	123
3.9.4.	Código ético de la profesión .....	123
3.10.	Criterios de Rigor Científico .....	125
<b>CAPITULO IV</b>		
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS</b>		
4.1.	Resultados en tablas y gráficos .....	128
4.1.1.	Estudio de Mecánica de Suelos en el Embalse de la Represa Gallito Ciego .....	128
4.1.2.	Análisis de la Situación Actual de la Colmatación del Embalse.....	144
<b>CAPÍTULO V</b>		
<b>PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN</b>		
5.1.	Alternativas de Solución Aplicadas al Problema de Sedimentación de la Represa Gallito Ciego .....	150
5.1.1.	Dragado.....	150
5.1.2.	Sistema de Hidrosucción .....	151
<b>CAPÍTULO VI</b>		
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		
6.1.	Conclusiones .....	155
6.2.	Recomendaciones.....	156
REFERENCIAS.....		157

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Número de Represas por Departamento. ....	24
<b>Tabla 2:</b> Represas más importantes de la costa peruana.....	25
<b>Tabla 3:</b> Tabla Programación del Desarrollo del Proyecto.....	28
<b>Tabla 4:</b> Tabla Precipitación total anual en la cuenca del rio Jequetepeque y cuencas vecinas.....	32
<b>Tabla 5:</b> Tabla Precipitación total anual en la cuenca del rio Jequetepeque y cuencas vecinas.....	33
<b>Tabla 6:</b> Clasificación del transporte de sedimentos.....	59
<b>Tabla 7:</b> Profundidades de dragado para diferentes métodos. ....	71
<b>Tabla 8:</b> Tabla Proceso de sedimentación 1988 – 2013.....	



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Pérdida de almacenamiento activo debido a sedimentación.....	21
<b>Figura 2:</b> Pérdida de almacenamiento activo debido a sedimentación según tramo del río. ....	21
<b>Figura 3:</b> Mapa mundial que muestra la ubicación de las represas de los Estudios de Caso.....	23
<b>Figura 4:</b> Ubicación y ámbito de acción de la Represa Gallito Ciego. ....	28
<b>Figura 5:</b> Gradiente de precipitación para la cuenca del río Jequetepeque.....	31
<b>Figura 6:</b> Representación esquemática del transporte de sedimentos. ....	59
<b>Figura 7:</b> Esquema general de las zonas de depósito en un embalse. ....	61
<b>Figura 8:</b> Esquema básico del depósito de sedimentos. ....	64
<b>Figura 9:</b> Proceso de remoción hidráulica de sedimentos durante la extracción. ....	72
<b>Figura 10:</b> Remoción de sedimento de fondo de un embalse sobre la cresta con un sifón.....	73
<b>Figura 11:</b> Sistema de hidrosucción en el Reservorio Cirato de la Central Hidroeléctrica de Carhuaquero.....	75
<b>Figura 12:</b> Descripción del Sistema de Hidrosucción de sedimentos. ....	76
<b>Figura 13:</b> Transporte de sedimentos en la tubería.....	78
<b>Figura 14:</b> Partes del sifón.....	79
<b>Figura 15:</b> Disposición general del sifón.....	80
<b>Figura 16:</b> Energía del sifón. ....	82
<b>Figura 17:</b> Perfil del sifón, cotas y posiciones de estudio. ....	84
<b>Figura 18:</b> Evaluación de la presión estática, pérdida de carga y altura de velocidad en el recorrido del sifón. ....	85
<b>Figura 19:</b> Presión dinámica del sifón en servicio y su evolución en el recorrido del mismo. ....	87
<b>Figura 20:</b> Estrechamiento en la tubería. ....	91
<b>Figura 21:</b> Tubería con presión negativa.....	92
<b>Figura 22:</b> Presión en el codo del sifón. ....	95

<b>Figura 23:</b> Muestreo con SPT (Coordenadas UTM - E: 703,143 / N: 9´201,425). .....	128
<b>Figura 24:</b> Muestreo con Posteadora (Coordenadas UTM - E: 703,143 / N: 9´201,425). .....	129
<b>Figura 25:</b> Muestreo con pala (Coordenadas UTM - E: 703,136 / N: 9´201,412). .....	129
<b>Figura 26:</b> Ensayo para determinar el Contenido de Humedad.....	130
<b>Figura 27:</b> Ensayo Contenido de Humedad de las muestras. ....	131
<b>Figura 28:</b> Ensayo para determinar Análisis Granulométrico. ....	132
<b>Figura 29:</b> Distribución y Curva granulométrica (C-1). ....	133
<b>Figura 30:</b> Distribución y Curva granulométrica (C-2). ....	134
<b>Figura 31:</b> Distribución y Curva granulométrica (C-3). ....	135
<b>Figura 32:</b> Distribución y Curva granulométrica (C-4). ....	136
<b>Figura 33:</b> Distribución y Curva granulométrica (C-5). ....	137
<b>Figura 34:</b> Distribución y Curva granulométrica (C-6). ....	138
<b>Figura 35:</b> Ensayo para determinar Gravedad Especifica. ....	139
<b>Figura 36:</b> Ensayo Gravedad específica de las muestras. ....	140
<b>Figura 37:</b> Ensayo para determinar Límite líquido e Índice de Plasticidad. ....	141
<b>Figura 38:</b> Curva de fluidez de la muestra (C-1).....	142
<b>Figura 39:</b> Curva de fluidez de la muestra (C-2).....	143
<b>Figura 40:</b> Pérdida de Capacidad (%). ....	146
<b>Figura 41:</b> Acumulación de sedimento .....	146
<b>Figura 42:</b> Proyección volumen acumulado de sedimentos (1987-2016).....	148

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1:</b> Ecuación de la energía del sifón. ....	81
<b>Ecuación 2:</b> Ecuación de la energía.....	82
<b>Ecuación 3:</b> Presión en un punto cualquiera de un líquido en movimiento. ....	89
<b>Ecuación 4:</b> Ecuación de la energía A Y C. ....	93
<b>Ecuación 5:</b> Parámetro de cavitación.....	94
<b>Ecuación 6:</b> La presión en cualquier punto del sifón.....	95
<b>Ecuación 7:</b> El coeficiente de energía cinemática.....	96
<b>Ecuación 8:</b> La presión cinemática. ....	96
<b>Ecuación 9:</b> Velocidad en el eje del sifón.....	97
<b>Ecuación 10:</b> Presión de vapor saturado. ....	97

## **INDICE DE ANEXOS**

- ANEXO 01:** Batimetría 2013 – PEJEZA
- ANEXO 02:** Cálculo Hidráulico
- ANEXO 03:** Cálculo Hidrológico
- ANEXO 04:** Cálculo para analizar la situación actual del embalse colmatado
- ANEXO 05:** Cálculo Teórico para el Sistema de Hidrosucción
- ANEXO 06:** Ensayo de Análisis Granulométrico
- ANEXO 07:** Ensayo para Determinar la Gravedad Específica
- ANEXO 08:** Ensayo para Determinar el Contenido de Humedad
- ANEXO 09:** Ensayo para Determinar el Límite Líquido e Índice de Plasticidad
- ANEXO 10:** Ofertas Económicas
- ANEXO 11:** Galería Fotográfica
- ANEXO 12:** Planos

## ÍNDICE DE PLANOS

**P-01:** Plano de Ubicación

**P-02:** Esquema General del Proyecto

**P-03:** Reservorio Gallito Ciego - Plano General de Obras

**P-04:** Presa Gallito Ciego - Plano General de Obras

**P-05:** Secciones Típicas y Detalles

**P-06:** Perfil Longitudinal

**P-07:** Carril Para Compuertas

**P-08:** Detalles de Válvula

**P-09:** Planta - Vertedero Cresta Ancha

**P-10:** Corte - Vertedero Cresta Ancha

**P-11:** Plano Ubicación de Muestras

**P-12:** Sistema de Hidrosucción

**BG - GC - OPEMA - 2013:** Planta Embalse Gallito Ciego (General)

**BGC - GC - OPEMA - 2013:** Planta a Color Embalse Gallito Ciego (General)

**BD - GC - OPEMA - 2013:** Planta Embalse Gallito Ciego (Detalle) I

**BD - GC - OPEMA - 2013:** Planta Embalse Gallito Ciego (Detalle) II

**BD - GC - OPEMA - 2013:** Planta Embalse Gallito Ciego (Detalle) III

**BD - GC - OPEMA - 2013:** Planta Embalse Gallito Ciego (Detalle) IV

**BD - GC - OPEMA - 2013:** Planta Embalse Gallito Ciego (Detalle) V

**U-GC-OPEMA-2013:** Ubicación De Perfiles y Secciones Transversales Embalse Gallito Ciego

**S-GC-OPEMA-2013:** Secciones Transversales Embalse Gallito Ciego (0+200 - 1+700)

**S-GC-OPEMA-2013:** Secciones Transversales Embalse Gallito Ciego (2+200 - 2+700)

**S-GC-OPEMA-2013:** Secciones Transversales Embalse Gallito Ciego (3+200 - 3+700)

**S-GC-OPEMA-2013:** Secciones Transversales Embalse Gallito Ciego (4+200 - 5+200)

**S-GC-OPEMA-2013:** Secciones Transversales Embalse Gallito Ciego (5+700 - 6+200)

**S-GC-OPEMA-2013:** Secciones Transversales Embalse Gallito Ciego (6+700 - 8+700)

**S-GC-OPEMA-2013:** Secciones Transversales Embalse Gallito Ciego (9+200 - 11+700)

**P-GC-OPEMA-2013:** Perfil Longitudinal Embalse Gallito Ciego (Eje y Casa de Máquinas)

## RESUMEN

En la actualidad 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. Se formula el problema ¿Qué técnica directa se podrá aplicar para solucionar el problema de sedimentación de la represa Gallito Ciego disminuyendo la colmatación en el embalse?

La justificación es tratar el estudio para reducir la cantidad de sedimento en el embalse, lo que favorece a la limpieza del agua y salubridad posterior de la población, agricultura y ganadería.

El objetivo fue aplicar técnicas de soluciones directas como alternativa para disminuir la colmatación en el embalse de la represa Gallito Ciego.

Se aplicaron dos técnicas de solución directa para disminuir la colmatación en el embalse: dragado y sistema de hidrosucción. Así como una investigación bibliográfica, ensayos de campo, trabajo de laboratorio y cálculos teóricos.

Se concluye que la Represa Gallito Ciego respecto al año 1991 disminuyó su capacidad en 104.56 MMC debido al sedimento colmatado en el embalse, encontrándose la captación del túnel de descarga a 1.10m sobre la capa superior del sedimento, debido a la tasa de colmatación por año de 1.7 MMC (estimado por Salzgitter) que resultó totalmente baja.

Se recomienda que deben considerarse en las represas nuevas, sistemas de descolmatación desde su diseño (como es el caso de sistemas de Hidrosucción) o de estructuras que disminuyan el ingreso de grandes cantidades de sedimentos.

**Palabras clave:** Dragado, Sedimentación, Embalse, Colmatación.

## ABSTRACT

At present, the Gallito Ciego Dam is suffering an accelerated clogging, due to the instability of the slopes of the tributary rivers that flow into the Jequetepeque River; This process has increased with the recent wet periods that have occurred lately. The problem is formulated what direct technique can be applied to solve the sedimentation problem of the Gallito Ciego dam by decreasing the clogging in the reservoir?

The justification is to treat the study to reduce the amount of sediment in the reservoir, which favors the cleaning of the water and subsequent healthiness of the population, agriculture and livestock.

The objective was to apply techniques of direct solutions as an alternative to reduce the clogging in the reservoir of the Gallito Ciego dam.

Two direct solution techniques were applied to reduce the clogging in the reservoir: dredging and hydrosuction system. As well as a bibliographical research, field trials, laboratory work and theoretical calculations. It is concluded that the Gallito Ciego Dam with respect to the year 1991 decreased its capacity by 104.56 MMC due to the sediment clogged in the reservoir, finding the catchment of the discharge tunnel at 1.10m above the upper layer of the sediment, due to the rate of clogging per year of 1.7 MMC (estimated by Salzgitter) that was totally low.

It is recommended that new dams should be considered, systems of decolonization from their design (as is the case of Hidrosucción systems) or structures that reduce the entry of large amounts of sediments.

**Key words:** Dredging, Sedimentation, Reservoir, Colmatation.



## INTRODUCCIÓN

Muchos embalses están expuestos a cierto grado de entrada y deposición de sedimentos. Se estima que un 0.5-1% del volumen embalsado en el mundo se pierde cada año por la sedimentación (Comisión Mundial de Represas, 2000, p.68).

“En el Perú se encuentran 743 registradas, de las cuales 54 represas están incluidas en el registro de la Comisión Internacional de Grandes Presas ICOLD, por las siglas en inglés de International Commission on Large Dams” (Ana, 2015). La represa Gallito Ciego se diseñó con un promedio de 1.7 MMC anuales de colmatación, en 23 años de operación se registran una colmatación anuales mínimas de 2.87 MMC y máximas de 5.27 MMC sin considerar el año del fenómeno *El Niño*).

El objetivo trazado fue aplicar técnicas de soluciones directas como alternativa para disminuir la colmatación en el embalse de la represa Gallito Ciego.

Para solucionar el problema de sedimentación de la Represa Gallito Ciego disminuyendo la colmatación del embalse será a través del sistema de hidrosucción, siendo la aplicación de menor costo comparado al dragado.

La hipótesis tratada fue: La solución al problema de sedimentación de la Represa Gallito Ciego para disminuir la colmatación del embalse será a través del sistema de hidrosucción.

En el análisis de la situación actual de la represa se encuentra una realidad muy preocupante, y es que el nivel de la entrada del túnel de captación se encuentra a 1.10m por encima de la capa superior del sedimento, siguiendo un proceso de colmatación continua.

Después de aplicar y analizar las alternativas de solución directa, se concluye que hay medidas muy económicas que pueden ser implementadas en el reservorio sin problemas. Éstas son los sistemas de Hidrosucción como operación de mantenimiento, que debe ser validada por los resultados de un modelo hidráulico físico.

Esta investigación fue elaborada en V capítulos, los mismos que se detallan a continuación:

El capítulo I. Enfoca el problema de investigación, los antecedentes a nivel internacional, nacional y local, así como la formulación del problema, la justificación, limitaciones y los objetivos tanto generales como específicos.

El Capítulo II, comprende el marco teórico, donde se exponen las bases teórico científicas de ambas variables de estudio.

En el Capítulo III, se encuentra el marco metodológico, se presenta las hipótesis, las variables, definiciones y operacionalización respectiva. La metodología de la investigación escrita en un diseño pre experimental; la población y muestra, técnicas e instrumentos de investigación, así como la metodología de tratamiento estadístico.

En el Capítulo IV, están los resultados de la investigación donde se ha demostrado la Influencia de la variable independiente sobre la dependiente.

En el capítulo V se presenta las conclusiones y recomendaciones.

# **CAPITULO I**

## **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

## 1.1. Situación Problemática

### 1.1.1. A Nivel Internacional.

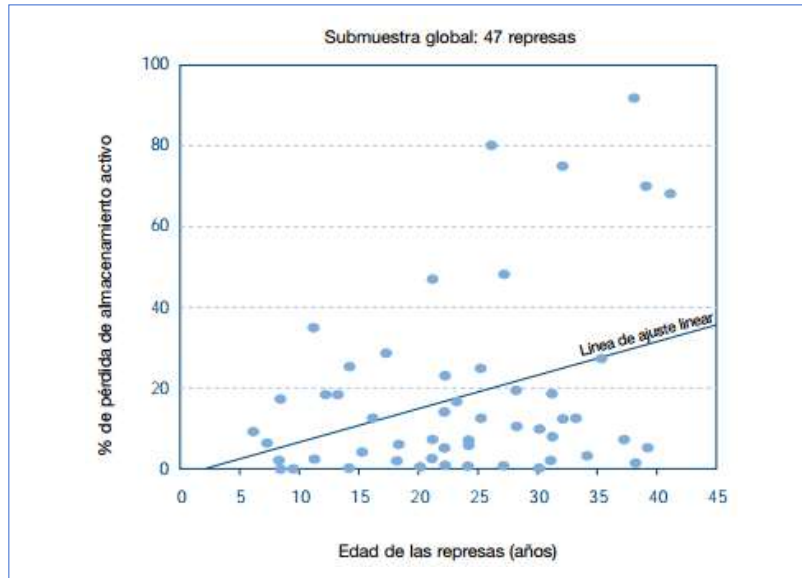
“Muchos embalses están expuestos a cierto grado de entrada y deposición de sedimentos. Se estima que un 0.5-1% del volumen embalsado en el mundo se pierde cada año por la sedimentación” (Comisión Mundial de Represas, 2000, p.68). “La sedimentación del almacenamiento activo afecta el desempeño físico y económico, pero sólo donde el almacenamiento previsto se utiliza más o menos en su totalidad. El sedimento también puede producir erosión de turbinas si llega a las entradas de electricidad” (Comisión Mundial de Represas, 2000, p.68).

“Con el tiempo, la sedimentación afectará la vida del proyecto al encenagar totalmente el almacenamiento muerto, lo cual conduce a que se bloquee la entrada” (Comisión Mundial de Represas, 2000, p.68).

*La Base de Conocimiento de la CMR (Comisión Mundial de Represas) indica que si bien la sedimentación puede socavar el desempeño de un proyecto de gran represa, las condiciones, y por tanto la frecuencia con que se presente dicho fenómeno, son específicas en cuanto a proyecto y lugar. (Comisión Mundial de Represas, 2000, p.68).*

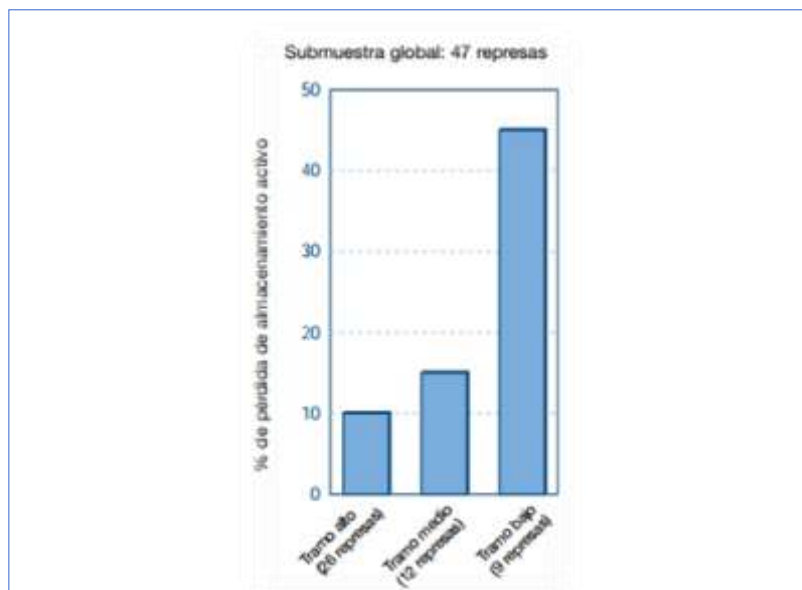
“Por ejemplo, se observan tasas más altas de sedimentación en represas más pequeñas y en los tramos más bajos de los ríos” (Comisión Mundial de Represas, 2000, p.68).

El análisis del Estudio de Verificación muestra que más del 50% del almacenamiento activo se perdió debido a deposición de sedimento en 10% de los proyectos en la muestra, todos los cuales habían estado operando por 25 años (ver figura 1). Pero se da una gran variabilidad dentro de esta cifra global del promedio (ver figura 2) . (Comisión Mundial de Represas, 2000, p.68)



**Figura 1:** Pérdida de almacenamiento activo debido a sedimentación.

Fuente: WCD Cross CheckSurvey



**Figura 2:** Pérdida de almacenamiento activo debido a sedimentación según tramo del río.

Fuente: WCD Cross CheckSurvey

“En la muestra, la pérdida promedio de almacenamiento activo fue mayor en embalses en el tramo más bajo de ríos” (Comisión Mundial de Represas, 2000, p.68).

“De las represas en el Estudio de Casos de la CMR, sólo Tarbela se enfrenta con un problema de sedimentación. En este caso, el embalse ha perdido el 18% de almacenamiento vivo después de 25 años” (Comisión Mundial de Represas, 2000, p.68).

*Aunque esto es inferior al previsto, la pérdida de capacidad de almacenaje disminuye la capacidad de la represa para almacenar agua para irrigar; además, la acumulación de sedimento cerca de la represa está amenazando la operación mucho antes del final de la vida del diseño . (Comisión Mundial de Represas, 2000, p.68)*

“A su vez, la sedimentación no es problema en las represas templadas en las cuencas del Glomma y del Laagers y en la Grand Coulee, donde las concentraciones de sedimento son mínimas” (Comisión Mundial de Represas, 2000, p.68).

Un estudio de 547 represas de EE UU encontró que:

a. “Una cuarta parte de los embalses hidroeléctrico tienen alguna clase de problema de sedimentación” (Comisión Mundial de Represas, 2000, p.68).

b. “El 15% de propietarios y operadores consideran estos problemas como graves” (Comisión Mundial de Represas, 2000, p.68).

c. “La frecuencia y percepción de sedimentación como problema es más alta para los embalses de menor volumen” (Comisión Mundial de Represas, 2000, p.68).

“Otros estudios confirman algunos de estos hallazgos. Datos de 42 represas en Marruecos indican que el almacenamiento está disminuyendo a una tasa de 1.1% para embalses con volúmenes de almacenamiento inferiores a 500 m<sup>3</sup> y de 0.6% para represas más grandes” (Comisión Mundial de Represas, 2000, p.68-69).

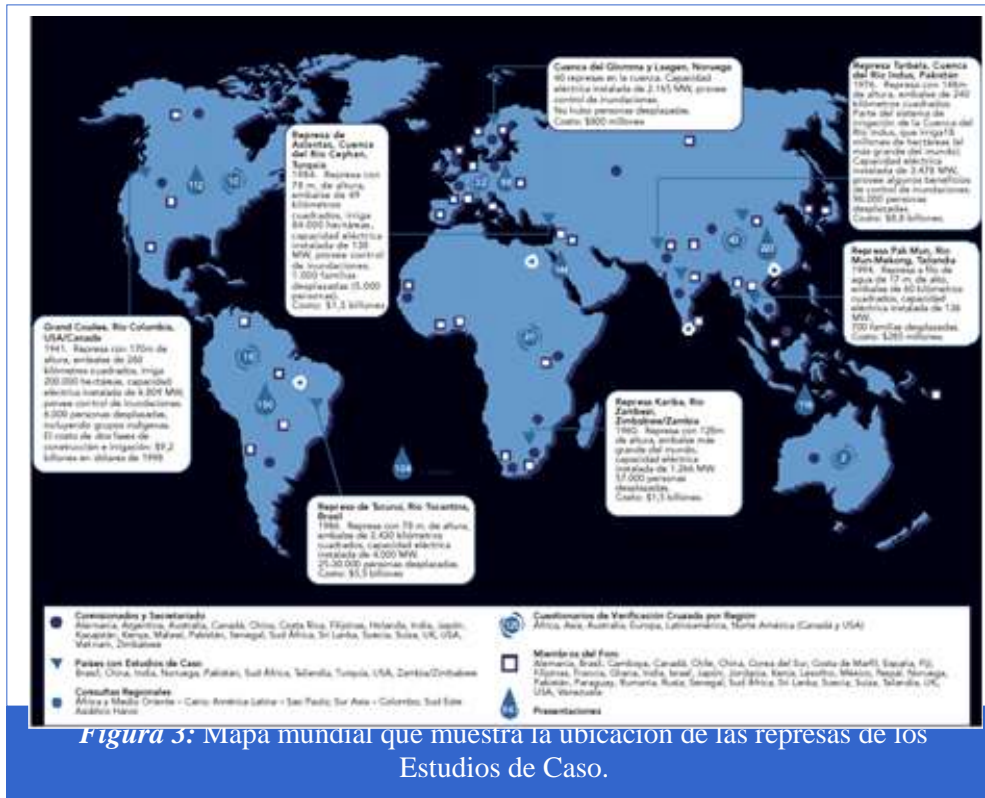


Figura 3: Mapa mundial que muestra la ubicación de las represas de los Estudios de Caso.

Fuente: CMR, 2000.

“Se ha podido determinar los siguientes casos de sedimentación de embalses en el mundo” (Carrión, 2004, p.37):

1) “El embalse de Austin, en el río Colorado (Texas, EE.UU.), años disminuyó en nueve años el 84% de su capacidad (Engineering News Record, 06 septiembre 1923, p380)” (Carrión, 2004, p.37).

2) “El pantano de Zuni, en Nuevo México, de 17 millones de m<sup>3</sup> de capacidad en 1906, quedó reducido al 60% en 1917” (Carrión, 2004, p.37).

3) “En la presa de Cismon (Italia), de 496 km<sup>3</sup> de cuenca afluyente, el caudal sólido es de unos 400 m<sup>3</sup> por año y km<sup>2</sup>” (Carrión, 2004, p.37).

4) “En la presa de Cueva Fodarada (España), en 1917 los regantes quisieron que se embalsara y se colocó un tapón a la galería antes de colocar las compuertas de desagüe” (Carrión, 2004, p.37). “Y cuando en 1928 hubo

necesidad de quitar el tapón para montar las compuertas, había sobre la boca de la galería 13 metros de sedimentos (Congreso Mundial de la Energía, en Barcelona, España, 1929)” (Carrión, 2004, p.37).

### 1.1.2. A nivel nacional.

“En el Perú se encuentran 743 registradas, de las cuales 54 represas están incluidas en el registro de la Comisión Internacional de Grandes Presas ICOLD, por las siglas en inglés de International Commission on Large Dams” (Ana, 2015).

**Tabla 1:**

*Número de Represas por Departamento.*

N°	DEPARTAMENTO	N° PRESAS
1	Ancash	143
2	Lima	115
3	Cusco	86
4	Junín	72
5	Ayacucho	48
6	Pasco	49
7	Huancavelica	48
8	Arequipa	37
9	Cajamarca	30
10	Puno	28
11	La Libertad	25
12	Apurímac	23
13	Huánuco	10
14	Lambayeque	10
15	Tacna	8
16	Moquegua	7
17	Piura	3
18	San Martín	1

Fuente: DGCA. Autoridad Nacional del Agua

De las cuales las principales represas se ubican en las cuencas costeras, se localizan en territorios que se caracterizan por no tener un fácil acceso al recurso hídrico, por tener un alto número de habitantes en comparación con otras regiones del país, además de ser claves para el desarrollo de actividades económicas como la agricultura. Las represas más importantes del país según su volumen de almacenamiento y área de influencia se enumeran en la tabla 2.



**Tabla 2:**

*Represas más importantes de la costa peruana.*

N°	NOMBRE	CUENCA	CAPACIDAD UTIL MAXIMA EN MMC
1	Lagunillas	Coata	800
2	Poechos	Chira	490
3	Gallito Ciego	Jequetepeque	488
4	Tinajones	Chancay-Lambayeque	330
5	Condorama	Camaná	259
6	San Lorenzo	Chira	193
7	Pasto Grande	Tambo	185
8	El Fraile	Quilca-Victor-Chili	127.2
9	El Pañe	Quilca-Victor-Chili	99.6
10	Pillones	Quilca-Victor-Chili	78.5
11	Aguada Blanca	Quilca-Victor-Chili	30.4
12	Dique Los Españoles	Quilca-Victor-Chili	9.9

Fuente: DGCA. Autoridad Nacional del Agua

Una de las represas más importantes del país y con mayores problemas es la represa de Poechos, ubicada en el departamento de Piura, en la cuenca del río Chira a 20 km al sur de la frontera con Ecuador. Fue construida como un reservorio de 1025 MMC de volumen total, con 885 MMC de volumen útil y 140 MMC destinados para atenuación de picos de avenidas. Según un estudio de sedimentación realizado en el 2004 (**Gencel, 2011**), esta represa ha reducido su volumen útil a cerca de la mitad en sólo 29 años desde su construcción en 1975. Esto debido principalmente al gran arrastre de sólidos que ocasionó el Fenómeno de El Niño en las cuencas de la costa norperuana en los años 1983 y 1998.

### **1.1.3. A Nivel Local.**

#### **LA REPRESA GALLITO CIEGO**

**Salzgitter, I. (1973)**

#### **1.1.3.1 Antecedentes Generales.**

##### **1.1.3.1.1 PEJEZA - Proyecto Especial Jequetepeque Zaña.**

“En 1963, los agricultores del Valle Jequetepeque ofrecieron al Gobierno, financiar los Estudios pertinentes, con el fin de lograr la regulación de las aguas del río Jequetepeque, para atender los requerimientos del Valle e incrementar las tierras de cultivo y superar las contingencias del régimen irregular e incierto del río”. (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2016). “Para llevar a cabo su propósito, solicitaron se establezca un gravamen a la producción de sus cultivos principales como arroz y algodón” (MINAGRI, 2016).

*Atendida esta petición, el Gobierno promulgó el 11 de Junio de 1963, el Decreto Ley N° 14554 en la que crea el Comité Especial del Valle Jequetepeque, encargándole contratar la ejecución de los Estudios Definitivos de Regulación y aprovechamiento Hidroeléctrico del Valle Jequetepeque . (MINAGRI, 2016)*

*El 10 de Julio de 1964, se promulgó la Ley N° 15133 que da fuerza de Ley al Decreto Ley N° 14554, que declara de necesidad y utilidad pública el Estudio definitivo sobre Regulación de Riego en el Valle Jequetepeque y amplía por tiempo indeterminado dicho gravamen, autoriza al Comité convocar a Licitación para la ejecución de Estudios y Obras establecidas . (MINAGRI, 2016)*

*La Ley 16630 del 30.06.67, declara de necesidad y utilidad pública la regulación de riego e irrigación de nuevas tierras en el valle del río Jequetepeque, así como el aprovechamiento de sus aguas para la generación de energía eléctrica con fines de promoción agrícola e industrial . (MINAGRI, 2016)*

*En el año de 1969, el Comité Especial del Valle del Río Jequetepeque, después de efectuar y evaluar el Estudio de Pre Factibilidad sobre el Proyecto Jequetepeque efectuado*

*por diferentes firmas Consultoras, acogió el planteamiento formulado por la Oficina Regional de Desarrollo del Norte (ORDEN) de incorporar al Valle de Zaña dentro de los Alcances del Proyecto, teniendo como base La Ley General de Aguas promulgada el año 1970, en la cual se establece que el uso del agua con fines de mejoramiento, es prioritaria a la prioridad de incorporación de tierras eriazas a la Agricultura; por lo que se amplía el enfoque del Proyecto, naciendo así el Proyecto Jequetepeque-Zaña . (MINAGRI, 2016)*

“En el año 1970, la irrigación Jequetepeque-Zaña, pasa a constituir un Proyecto de Inversión del Ministerio de Agricultura y Riego, encargándosele la conducción y supervisión de los Estudios” (MINAGRI, 2016).

*En el año 1973, Según el estudio de factibilidad Técnica Económica, realizado por Salzgitter Industriebau GMBH en el año 1973, el objetivo principal del Proyecto se enmarcó en asegurar prioritariamente el riego, en cantidades suficientes y distribución oportuna, para las tierras que cuentan con agricultura establecida en el Valle Jequetepeque, así como el mejoramiento de riego de la tierras productivas existentes en el Valle de Zaña, y la incorporación al riego de tierras eriazas en ambos Valles . (MINAGRI, 2016)*

“Mediante Decreto Supremo N° 420-77-AG del 26 de octubre de 1977, que crea el Proyecto Especial Jequetepeque - Zaña. Empezando su ejecución” (MINAGRI, 2016).

**Ámbito:** Departamentos: La Libertad/ Cajamarca/  
Lambayeque.

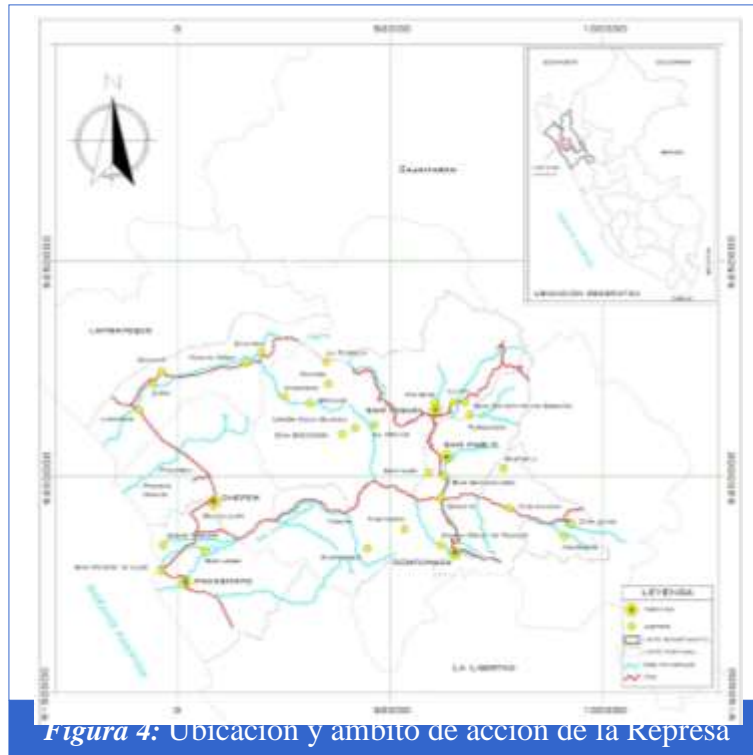


Figura 4: Ubicacion y ambito de accion de la Represa

Fuente: Ministerio de Agricultura y Riego

### Principales obras

“El esquema hidráulico del Proyecto y sus principales Obras, se han adecuado al aprovechamiento de los recursos hídricos disponibles de las cuencas de los ríos Jequetepeque y Zaña de la vertiente Occidental” (MINAGRI, 2016); “y, conforme con la prioridades, el desarrollo y construcción de las obras de su infraestructura hidráulica mayor, el desarrollo del proyecto fue programado en tres Etapas” (MINAGRI, 2016):

**Tabla 3:**

*Tabla Programación del Desarrollo del Proyecto.*

Etapas	Mejora Riego (Ha)	Incorp. Áreas (Ha)	Gener. Elect. (MW)	Familia Benefic.
<b>ETAPA I</b>				
V. Jequetepeque	36,000	6,700	-	8,000
<b>ETAPA II</b>				
V. Jequetepeque	-	5,300	-	1,500
Valle Zaña	13,600	4,400	-	5,500
<b>ETAPA III</b>				
H. Gallito Ciego			23	
H. San Juan			60	
<b>TOTAL</b>	49,600	16,400	83	15,000

Fuente: Estudio de Factibilidad Técnico – Económico (1973) - PEJEZA

“La Primera Etapa contempló el represamiento del río Jequetepeque por medio de la construcción de la Represa Gallito Ciego y formación del embalse del mismo nombre, con volumen útil de 400MMC, aproximadamente” (MINAGRI, 2016).

*La obra, concluida en el año 1987, viene brindando servicio de riego para el desarrollo 42,700 Ha del Valle Jequetepeque, lo cual implica el mejoramiento del sistema de riego de 36,000 Ha del valle interior, áreas que contaban desde hace tiempo con agricultura instalada bajo riego; asimismo, ha posibilitado la progresiva incorporación de 6,188.92 Ha Brutas (5,746 Ha Netas) de tierras eriazas del valle exterior, vendidas en subasta pública a la empresa agrícola Cerro Prieto SAC . (MINAGRI, 2016)*

“En la II Etapa se consideró el mejoramiento del riego en el Valle Zaña de toda su área instalada de 13,600 Ha, e incorporación al riego de las 12 tierras eriazas disponibles en ambos valles de 9,700 Ha” (MINAGRI, 2016).

*Considerándose que para este propósito, los recursos hídricos propios de las cuencas comprometidas no iban a ser suficientes, era necesario derivar las aguas de los ríos Cajamarca y Namora, de la vertiente oriental, a la cuenca del río Jequetepeque; por medio de la construcción de las obras hidráulicas correspondientes . (MINAGRI, 2016)*

*En el perfil de la II Etapa, elaborado durante el 2006, se propuso una alternativa técnica que consiste en una explotación de aguas subterráneas de los Valles Jequetepeque y Zaña, y la utilización de los recursos hídricos superficiales de la Cuenca Zaña, sin regulación para el mejoramiento de riego de 15,000 Has en el valle de Zaña, y la incorporación de 11,000 Has de áreas nuevas en el intervalle Jequetepeque Zaña . (MINAGRI, 2016)*

“Dicha alternativa se sustenta en el cambio sustancial de las condiciones climatológicas, geomorfológicas, sedimentarias y agronómicas, como se especificará más adelante” (MINAGRI, 2016).

*Las obras necesarias a construirse en la Tercera Etapa, exclusivamente estaban destinadas al aprovechamiento del potencial Hidroenergético que se iba a crear con las obras de las dos etapas precedentes, para la generación de energía en las Centrales Hidroeléctricas San Juan y Gallito Ciego . (MINAGRI, 2016)*

“Con R.S. N° 080-95-EM se otorgó a la empresa Cementos Norte Pacasmayo S.A. la Concesión Definitiva para ejecutar las obras de la Central Hidroeléctrica Gallito Ciego (34 MW), las mismas que fueron construidas por COSAPI S.A.” (MINAGRI, 2016).

*Con D.S. N° 24-95-PRES del 16.12.95, se transfiere al Proyecto Especial Jequetepeque-Zaña, el dominio de las superficies eriazas adyacentes y colindantes a la Presa y Embalse Gallito Ciego, en un área total de 2,695 Has., declarándola así mismo zona intangible. Mediante R.D.N° 131-97-INADE-8101, se suscribió contrato de Concesión de los Servicios de Operación y Mantenimiento de la Infraestructura Hidráulica Mayor de Riego y Drenaje, con la Asociación Civil OPEMA Jequetepeque, vía concesión por un plazo de dos años . (MINAGRI, 2016)*

### **1.1.3.2. Hidrología de la Cuenca Jequetepeque**

Los estudios efectuados aguas arriba de la represa Gallito Ciego, se observan problemas de erosión laminar, surcos y cárcavas en diversos grados. Que producen sedimento los cuales son transportados a través de la red

hidrográfica y que serán retenidos por la represa. Siendo la lluvia un agente primario de la erosión hídrica.

### Análisis de la precipitación

El comportamiento de la lluvia en la cuenca del río Jequetepeque para el periodo de observaciones de 1964 a 1986 con excepciones del año 1982-1983 (fenómeno del niño), muestra una gradiente lineal con respecto a la altitud, siendo la precipitación más alta en la margen derecha que la del centro como se muestra en los gráficos de la figura 5.

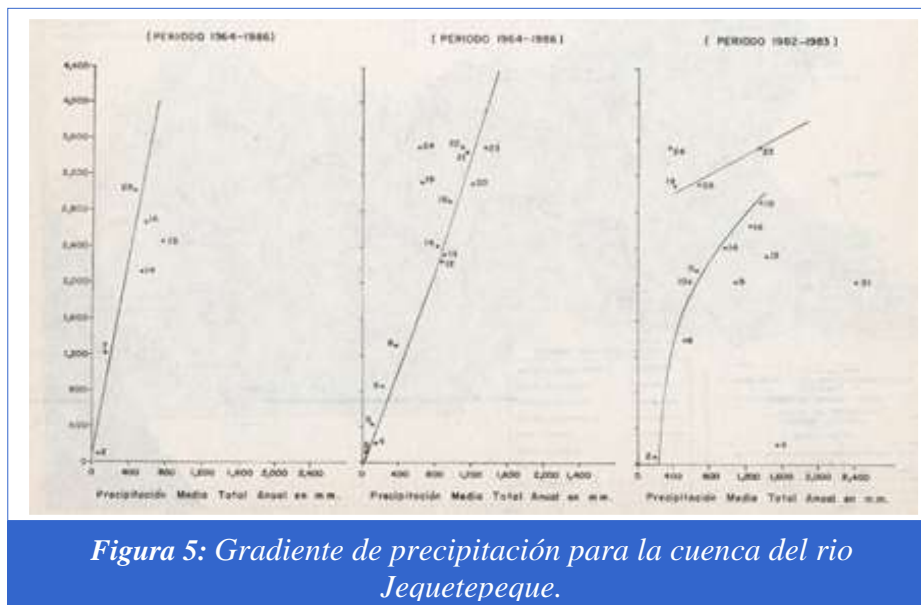


Figura 5: Gradiente de precipitación para la cuenca del río Jequetepeque.

Fuente: Elaborado por ONERN

Para el año hidrológico 1982-83 se observa una baja correlación entre la precipitación y la altitud, con una tendencia no lineal desde el nivel del mar hasta los 3,000 m.s.n.m. y a partir de esta altitud sigue una tendencia lineal, como se muestra en la figura 5, comprobándose que a partir de 1,400 mm de precipitación la curva presenta un comportamiento similar a aquella para el periodo 1964-85; por lo tanto, se puede considerar a esta curva como el límite hasta el cual se extendió los efectos del fenómeno *El niño* 1982-83.

## Precipitación máxima en 24 horas

La información pluviométrica en el área de estudio no se encuentra en el grado adecuado para su utilización, sin embargo, a través del análisis de la precipitación máxima en 24 horas, dato existente para toda la cuenca del río Jequetepeque y considerando un periodo de retorno de 50 años, compatible con la vida útil de las estructuras hidráulicas, se ha podido obtener una distribución temporal.

**Tabla 4:**

*Tabla Precipitación total anual en la cuenca del río Jequetepeque y cuencas vecinas.*

N°	Estación	Periodo de registro	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)	Precipitación Total anual Promedio (m.s.n.m.)	Precipitación Total anual 1982-1983 (m.s.n.m.)
01	Talla	1968-84	07°16´	79°16´	90	31.0	223.3
02	San José	1963-83	07°21´	79°27´	96	21.3	128.4
03	Chepen	1963-79	07°14´	79°26´	114	36.6	S.D.
04	Oyotun	1963-85	06°51´	79°18´	200	135.2	1,529.5
05	Tembladera	1964-79	07°15´	79°08´	450	92.6	S.D.
06	Chilete	1963-86	07°13´	78°50´	850	196.0	S.D.
07	San Benito	1963-83	07°25´	78°56´	1,200	107.7	S.D.
08	Magdalena	1963-84	07°15´	78°40´	1,300	358.3	537.9
09	Hda. Livis	1963-86	07°05´	79°02´	2,000	461.0	1,046.3
10	Hda. Llagadén	1965-86	07°16´	78°35´	2,000	549.1	549.5
11	Asuncion	1963-86	07°19´	78°31´	2,100	491.1	624.6
12	San Juan	1964-86	07°17´	78°30´	2,224	818.2	875.7
13	Udima	1963-86	06°49´	79°05´	2,300	883.6	1,381.9
14	Niepos	1963-86	06°56´	79°08´	2,400	696.1	906.9
15	Cospán	1963-83	07°26´	78°32´	2,450	753.2	S.D.
16	Contumazá	1964-86	07°22´	78°48´	2,650	577.6	1,226.4
17	Hda. Tongod	1951-72	06°46´	78°49´	2,650	1,994.7	S.D.
18	Llapa	1963-86	06°58´	78°48´	2,900	932.8	1,343.6
19	Hda. Quilcate	1964-86	06°49´	78°44´	3,100	629.4	404.4
20	Granja Porcón	1966-86	07°02´	78°38´	3,158	1,211.9	S.D.
21	Yumagual	1963-76	07°13´	78°31´	3,450	1,129.1	S.D.
22	Los Negritos	1961-86	06°54´	78°32´	3,500	1,096.2	S.D.
23	Hualgayoc	1961-83	06°46´	78°32´	3,510	1,351.5	1,321.2
24	Hda. Quebrada Honda	1964-86	06°56´	78°42´	3,530	645.4	324.4
25	Chotén	1977-85	07°16´	78°29´	3,130	514.4	645.5
26	San Gragorio	1977-85	07°06´	79°05´	1,900	370.1	2,387.6

Fuente: Elaborado por ONERN - PEJEZA



**Tabla 5:**

*Tabla Precipitación total anual en la cuenca del río Jequetepeque y cuencas vecinas.*

Estación	Altitud	Periodo de Retorno (años)				
		5	10	25	50	100
Hda. honda	3,550	25	30	38	42	48
Hualgayoc	3,510	44	48	54	58	63
Hda. Negritos	3,500	48	56	68	75	84
Yumagual	3,450	36	43	48	54	60
Granja Porcón	3,150	63	75	90	100	112
Hda. Quilcate	3,100	38	48	62	71	81
Llapa	2,900	48	56	66	74	82
Hda. Tongod	2,650	72	87	104	117	129
Contumazá	2,650	40	45	60	65	75
Niepos	2,400	50	64	80	92	106
Udima	2,300	50	60	72	80	87
San Juan	2,224	47	55	64	72	78
Asunción	2,100	36	44	54	62	69
Hda. Llagadén	2,000	35	40	46	51	55
Hda. Livis	2,000	40	54	64	72	78
Magdalena	1,300	32	38	44	50	55
Chilete	850	28	34	42	48	54
Tembladera	450	20	70	30	35	40
Oyotún	200	22	29	37	42	48
Cheden	114	12	16	20	24	26
San José	96	8	9	12	13	15
Talla	90	9	11	14	16	18

Fuente: Elaborado por ONERN – PEJEZA

### 1.1.3.3. La Represa Gallito Ciego

La Represa Gallito Ciego, obra principal del Proyecto Especial Jequetepeque - Zaña, es una estructura de tierra zonificada, ubicada en el mismo cauce del río Jequetepeque. Fue construida por la Asociación Gallito Ciego (AGC) en el periodo 1982 hasta 1988.

La Represa con sus obras secundarias como aliviadero de crecidas, túnel de descarga, etc., permiten el embalse de agua, formando así el Reservorio Gallito Ciego, cuyo espejo de agua en el nivel normal del embalse (404 m.s.n.m.) se extiende desde la Represa hasta la parte baja de tembladera, a unos 12.5 km aguas arriba del lugar de la Represa.

## 1. Las características principales de la Represa Gallito Ciego

- Tipo de presa : Materiales sueltos, tierra zonificada
- Taludes : Aguas arriba: entre 1V:2,25H y 1V:1,85H
- Aguas abajo : 1V:1,90H y 1V:1,85H
- Destino : Irrigación  
Abastecimiento  
Generación energía hidroeléctrica  
Laminación de avenidas
- Cota o nivel de fundación del núcleo : 301,00 msnm
- Cota o nivel de fundación de los espaldones : 308,00 msnm
- Cota o nivel tope del diafragma : 311,00 msnm
- Cota o nivel mínimo del diafragma : 279,00 msnm
- Cota o nivel de la corona o coronación : 413,00 msnm
- Altura de presa entre fundación del núcleo y corona : 112,00 m
- Altura de presa entre fundación de espaldones y corona : 105,00 m
- Longitud de la coronación : 797,00 m
- Anchura de la coronación : 15,00 m
- Longitud de la presa en la base (308,00 m.s.n.m.) : 405,00 m
- Anchura máxima en la base (308,00 m.s.n.m.) : 472,46 m
- Volumen de excavación de limpieza : 997.000,00 m<sup>3</sup>
- Volumen de relleno total : 13.917.000,00 m<sup>3</sup>
- Periodo de construcción (relleno de la represa) : 1982 – 1987

## 2. Las características principales de las Obras Secundarias

### Instalaciones de Servicio

- Nivel de captación de fondo : 315,00 m.s.n.m.
- Diámetro del tubo : 1,20 m

- Cota de captación de servicio : 336,78 m.s.n.m.
- Diámetro del pique vertical principal : 3,00 m
- Diámetro túnel de descarga : 7,5 - 7,8 m
- Longitud túnel de descarga : 700,00 m
- Diámetro salida túnel de descarga (2 unid) : 2,00 m (cada tubo con una válvula mariposa y otra Howell-Bunger)

### **Aliviadero de Crecidas**

- Caudal de diseño : 1,630 m<sup>3</sup>/s
- Vertedero, cota de coronación : 404,00 m.s.n.m.
- Vertedero, cota de solera : 402,90 - 401,88 m.s.n.m.
- Vertedero, anchura : 62,00 m
- Vertedero, longitud : 85,00 m
- Caída en roca, altura : 42,00 m
- Rápida, cota : 360,00 - 311,25 m
- Rápida, longitud : 320,00 m
- Poza disipadora, cota : 293,30 - 298,30 m
- Poza disipadora, ancho : 61,00 - 77,30 m
- Poza disipadora, longitud : 90,00 m
- Canal de descarga, cota : 298,30 m
- Canal de descarga, longitud : 393,00 m

### **3. Principales Datos Hidrológicos y del Embalse**

- Área de la cuenca : 4,230 km<sup>2</sup>
- Volumen anual medio de esorrentía : 838 Mm<sup>3</sup>
- Nivel normal del embalse : 404.00 m.s.n.m.
- Nivel máximo en crecidas : 410.30 m.s.n.m.
- Nivel muerto : 361.00 m.s.n.m.
- Volumen de embalse muerto : 117.90 Mm<sup>3</sup>
- Volumen útil : 426.80 Mm<sup>3</sup>
- Volumen de sobreelevación en crecidas : 93.40 Mm<sup>3</sup>
- Volumen total : 638.10 Mm<sup>3</sup>

- Volumen de reserva técnica : 150.00 Mm<sup>3</sup>
- Área de embalse, nivel 404 : 14.20 km<sup>2</sup>
- Área de embalse, nivel 361 : 5.60 km<sup>2</sup>

#### 4. Características Hidráulicas del Reservorio

- Embalse muerto : 86 Mm<sup>3</sup> (entre la cota 310 m – 361 m)
- Embalse útil : 400 Mm<sup>3</sup> (entre la cota 361 m – 404 m)
- Embalse de retención de crecidas : 85 Mm<sup>3</sup> (entre la cota 404 m – 410.30 m)
- Embalse total : 571 Mm<sup>3</sup> (entre la cota 310 m – 410.30 m)
- Superficie máxima del espejo de agua : Aprox. 15 Km<sup>2</sup> (en la cota 410.30 m)
- Longitud máxima del embalse : Aprox. 10 Km
- Ancho del embalse : Entre 1 y 2 Km
- Pendiente media en el río en la zona del reservorio : 1%
- Profundidad máxima del reservorio (en caso de crecidas) : Aprox. 100m
- Masa anual media
  - Etapa I : 816 Mm<sup>3</sup>
  - Etapa II
    - Derivación del río Cajamarca (Q= 10m<sup>3</sup>/s) : 152 Mm<sup>3</sup>
    - Derivación del río Namora (Q= 10m<sup>3</sup>/s) : 126 Mm<sup>3</sup>
  - Etapa I + II : 1,094 Mm<sup>3</sup>
- Grado de utilización del reservorio (relación capacidad útil vs. Masa anual media), tomando en cuenta la colmatación progresiva de sólidos en 50 años
  - Etapa I : 0,59 a 0,49
  - Etapa II : 0,44 a 0,37

Luego de concluido el relleno de la Represa en setiembre de 1987 y el cierre del túnel de descarga en febrero de 1988, se inició el proceso de llenado del embalse del reservorio en el periodo de avenidas 1987 – 1988.

Según el estudio de factibilidad Técnica Económica, realizado por Salzgitter Industriebau GMBH en el año 1973, presentamos los cálculos hidráulicos (ver anexo 02) siguientes:

- a) Canal de descarga
- b) Túnel de descarga
- c) Canal de desvío
- d) Túnel de desvío
- e) De la caída

## **1.2. Formulación del Problema**

¿Qué técnica directa se podrá aplicar para solucionar el problema de sedimentación de la represa Gallito Ciego disminuyendo la colmatación en el embalse?

## **1.3. Delimitación de la Investigación**

La investigación se centra en la Represa de Gallito Ciego, construida sobre el lecho del río Jequetepeque en la localidad de Tembladera, distrito de Yonán, provincia de Contumaza, en el departamento de Cajamarca a 350 m.s.n.m, aproximadamente a 7°13' latitud sur y 79°10' longitud oeste. Está situada en un estrechamiento del valle con laderas inclinadas que forman un vaso de 12 km de largo y de 1 a 2 km de ancho cubriendo un área aproximada de 14 km<sup>2</sup>.

## **1.4. Justificación e Importancia de la Investigación**

### **1.4.1. Justificación Técnica**

1) Para evaluar los sedimentos que se depositan en el embalse de la Represa Gallito Ciego se hará uso de soluciones directas, que son aquellos que

se utilizan en el campo. “Estos pueden realizarse en la zona misma donde ocurre la erosión en el momento del transporte o los depósitos de las partículas. Entre los métodos directos podemos mencionar” (Carrión, 2004, p.33):

**“Por medio de instrumentos:** En los ríos que conforman la red hidrográfica que desemboca en el reservorio. Se toman medidas del sedimento de fondo y del sedimento en suspensión” (Carrión, 2004, p.33).

**“Por levantamientos topográficos:** Zonas afectadas con erosión severa” (Carrión, 2004, p.33).

**“Por levantamientos batimétricos:** Es la mejor manera de conocer el volumen de sedimentos acumulados, así como su distribución espacial dentro del reservorio” (Carrión, 2004, p.33).

Por lo tanto, “se optó por el método directo de mayor importancia: **El levantamiento batimétrico**, debido a que es la mejor manera de conocer el volumen de los sedimentos acumulados en un embalse existente” (Carrión, 2004, p.34). “El levantamiento batimétrico, conocido también como topografía hidrográfica, consiste básicamente en medir la profundidad de un lago, laguna, embalse, el lecho del mar entre otros” (Carrión, 2004, p.34). “Así como el levantamiento topográfico describe la superficie, la batimetría también lo hace, con la deficiencia que este último describe al fondo de la laguna y/o mar, sobre una masa de agua” (Carrión, 2004, p.34).

**2)** Para el problema de sedimentación de la Represa Gallito Ciego, se analizó la solución desde dos posibles aplicaciones.

Las alternativas en cuestión son:

- Dragado
- Sistema de hidrosucción

### **1.4.2. Justificación Ambiental**

1) Reducir la cantidad de sedimento en el embalse, lo que favorece a la limpieza del agua y salubridad posterior de la población, agricultura y ganadería.

2) Generación de movimiento del agua estancada en el fondo generando posibilidad de crianza de fauna acuícola.

3) Con el aumento de agua se podrá reforestar las laderas del río generando un círculo virtuoso, al combatir el CO<sub>2</sub> del medio ambiente, mejorando el paisaje de la zona en beneficio del turismo, creando un ambiente adecuado para regenerar la fauna que actualmente está en extinción y para mejorar a su vez el clima de la zona y al calificar ante la comunidad internacional, tendrá un apreciable ingreso económico al mejorar al medio ambiente.

### **1.4.3. Justificación Socioeconómica**

1) Recuperar parte de la capacidad de almacenamiento de la represa, aumenta la cantidad de tierras regadas y se convertirá en cultivables de gran calidad por ser ricas en fosfatos en beneficio de la economía y alimentación de los pobladores de la zona.

2) Lo expresado generaría gran cantidad de puestos de trabajo formal y los trabajadores estarían considerados en los servicios médicos del estado y seguridad social, así como el pago de impuestos, mejorándolos servicios básicos de las ciudades de influencia.

3) El río Jequetepeque alimenta la represa y luego continua su curso, con el paso de los años a *lavado* el cauce provocando que parte del agua del río vaya al subsuelo creando una gran capa freática, lo que a su vez produjo un proceso de salinización y está afectando los cultivos, las estructuras de los edificios y casas así como al agua de consumo humano, con la extracción del sedimento de la laguna y devolviéndolo al cauce se recuperaría en parte la condición inicial del río, evitando el incremento de la capa freática.

## **1.5. Limitaciones de la Investigación**

Descripción de las dificultades, circunstancias, hechos y obstáculos que se encontraron en el proceso de investigación:

### **1) Obtención de información**

**a)** En la Autoridad Nacional del Agua (ANA); Debido a la falta de información ordenada y organizada en el estado peruano se recurrió a la ANA ubicada en Lima y solamente se pudieron obtener con gran dificultad los planos de construcción de la Represa Gallito Ciego, era toda la información con la que se cuenta.

**b)** En el Miniterio de Agricultura a pesar de multiples intentos de comunicación y de ingreso para obtener información en Lima, no fue posible por la ausencia de esta información.

**c)** Proyecto Especial Jequetepeque – Zaña (PEJEZA), se hicieron las coordinaciones iniciales en la ciudad de Piura y luego nos derivaron a Trujillo, de donde nos conectaron con PEJEZA, fuimos atendidos por el Director Ejecutivo del Proyecto Especial Jequetepeque – Zaña Ing. Augusto Sayán Gianella, al cual se presentó un documento para obtener la información requerida y la visita posterior a la Represa.

El ingeniero Sayán nos comunicó que se podía ir a la Represa para hacer la visita programada, la que se hizo, sin embargo por la falta de coordinación no nos permitieron el ingreso y por tanto la obtención de la información.

Regresamos al Ing. Sayán para exponer lo sucedido y luego de varias coordinaciones telefónicas, finalmente nos derivó con el Ing. Marco Antonio Palomino Barba, Gerente de Operación y Mantenimiento del Proyecto Especial Jequetepeque – Zaña.



En la visita que se hizo al campamento, nos atendió el Ing. Palomino, el cual exigió un plan de trabajo de la visita para la obtención de las muestras, toma fotográfica, información oral y escrita del Proyecto. Al no contar con el plan de trabajo, se programó una nueva visita llevando el documento de acuerdo a la exigencia del Ing. Palomino. En la siguiente visita, contra entrega del documento pedido, nos programaron una visita para entregar la información solicitada, y posterior realización de los ensayos en el embalse de la Represa Gallito Ciego.

## **2) Obtención y procesamiento de las muestras**

**a)** Para el muestreo con SPT “Standard Penetration Test” (Ensayo de Penetración Estándar) se llevó el equipo preparado, el personal especializado y el protocolo de ensayo. El protocolo coordinado con el asesor contemplaba puntos geográficos específicos de obtención de muestras.

Al llegar al primer punto se intentó realizar el ensayo sobre un suelo arenoso y al iniciar el ensayo, a una profundidad entre 0.50m – 0.80m se encontró rocas entre 10cm – 50cm de largo por un ancho de 15cm en promedio, se tomó la decisión de parar el ensayo ya que El ensayo SPT tiene su principal utilidad en la caracterización de suelos granulares (arenas o gravas arenosas).

**b)** Como resultado de la práctica del ensayo SPT se intentó en diferentes puntos realizarlo el ensayo con Posteadora Manual y resultó que fue inútil ya que el suelo presentaba las mismas características.

### **1.6. Objetivos de la Investigación**

#### **1.6.1. Objetivo General**

Aplicar técnicas de soluciones directas como alternativa para disminuir la colmatación en el embalse de la represa Gallito Ciego.

### **1.6.2. Objetivos Específicos**

1. Realizar un diagnóstico para conocer la situación actual de la Represa Gallito Ciego.
2. Analizar los sedimentos que presenta la represa mediante ensayos de campo y de laboratorio.
3. Identificar las técnicas de soluciones directas
4. Aplicar las técnicas de soluciones directas y seleccionar la mejor alternativa de solución para disminuir la cantidad de sedimento en el embalse de la Represa Gallito Ciego.

# **CAPITULO II**

MARCO TEORICO

## 2.1. Antecedentes de Estudio

### 2.1.1. A Nivel Internacional

“En el presente trabajo se realiza un estudio general de las principales características de los sedimentos depositados en los embalses: entrada y distribución de los materiales en el vaso, composición y tipología de los mismos, etc.” (Cobo, 2008, p.231).

*Se analiza a continuación la pérdida de capacidad de cada una de las cuencas hidrográficas en España a partir de los estudios realizados en embalses de las mismas y se extrapola la posible pérdida de capacidad a lo largo de los primeros cincuenta años del presente siglo a partir de dichos estudios . (Cobo, 2008, p.231)*

“Se repasan, a continuación, las diversas metodologías que se pueden aplicar para evitar o atenuar la pérdida de capacidad de los embalses por acumulación de sedimentos y se finaliza dando criterios para la gestión de los sedimentos en embalses” (Cobo, 2008, p.231).

**Moreno, V (2012);** en su tesis doctoral: **“Optimización de la succión de sólidos sumergidos utilizando bombas centrífugas con velocidad variable”**. Universidad Politécnica de Madrid.

*La acumulación de sólidos en embalses, cauces fluviales y en zonas marítimas hace que la extracción mecánica de estos materiales por medio de succión sea cada vez más frecuente, por ello resulta importante estudiar el rendimiento de la succión de estos materiales analizando la forma de las boquillas y los parámetros del flujo incluyendo la bomba . (Moreno, 2012, p.3)*

“Esta tesis estudia, mediante equipos experimentales, la eficacia de distintos dispositivos de extracción de sólidos (utilizando boquillas de diversas formas y bombas de velocidad variable)” (Moreno, 2012, p.3).

*El dispositivo experimental ha sido desarrollado en el laboratorio de hidráulica de la E.T.S.I de caminos, C. y P. de la Universidad Politécnica de Madrid. Dicho dispositivo experimental incluye un lecho sumergido de distintos tipos de sedimentos, boquillas de extracción de sólidos y bomba de velocidad variable, así como un elemento de separación del agua y los sólidos extraídos . (Moreno, 2012, p.3)*

“Los parámetros básicos analizados son el caudal líquido total bombeado, el caudal sólido extraído, diámetro de la tubería de succión, forma y sección de la boquilla extractora, así como los parámetros de velocidad y rendimiento en la bomba de velocidad variable” (Moreno, 2012, p.3).

“Los resultados de las medidas obtenidas en el dispositivo experimental han sido estudiados por medio del análisis dimensional y con métodos estadísticos” (Moreno, 2012, p.3). “A partir de este estudio se ha desarrollado una nueva formulación, que relaciona el caudal sólido extraído con los diámetros de la tubería y boquilla, caudal líquido bombeado y velocidad de giro de la bomba” (Moreno, 2012, p.3).

*Así mismo, desde el punto de vista práctico, se han analizado la influencia de la forma de la boquilla con la capacidad de extracción de sólidos a igualdad del resto de parámetros, de forma que se puedan recomendar que forma de la boquilla sea la más apropiada . (Moreno, 2012, p.3)*

**Sánchez, E (2014);** en su tesis: **“Análisis de métodos para la limpieza hidráulica de sedimentos desde embalse”**, Universidad central del Ecuador.

*El presente trabajo de graduación analiza los métodos existentes alrededor del mundo para remover los sedimentos que se depositan en el cuerpo de los embalses sin utilizar energía externa, es decir,*

*que para esta limpieza se utiliza únicamente la fuerza erosiva del agua . (Sánchez, 2014, p.20)*

*Los embalses son estructuras que conjeturan una interrupción en el gradiente longitudinal de los ríos, por tal motivo todos los sedimentos arrastrados son retenidos en el cuerpo del embalse, debido fundamentalmente a la disminución de la velocidad del flujo, este arrastre tiene como resultado una retención de materiales en forma de sedimentos que posteriormente dan lugar a la colmatación . (Sánchez, 2014, p.20)*

*En la actualidad la colmatación es un problema que se presenta en todos los embalses sin excepción alguna, lo que ocasiona una pérdida considerable del volumen útil de los embalses, así como también una disminución en la vida útil de los mismos . (Sánchez, 2014, p.20)*

“La solución para remover dichos sedimentos dentro de los embalses no tiene soluciones totalmente definitivas, pero los métodos que se describen en éste trabajo pueden contribuir a minimizar los procesos de colmatación de embalses” (Sánchez, 2014, p.20).

### **2.1.2. A Nivel Nacional**

**Quintana, J (2006);** en su tesis: **“Análisis de la colmatación del Reservorio Poechos y propuestas de solución”**. Universidad de Piura. “La presente tesis es el trabajo de recopilación, compilación y análisis de información de más de un año de trabajo” (Quintana, 2006).

*Este trabajo ha sido guiado por dos grandes entendidos en el tema, con muchos años de experiencia, como son los ingenieros Jorge Reyes Salazar y Jorge Vera Tudela G. Mediante el presente trabajo, se ha obtenido una visión más clara de la situación real del*

*reservorio Poechos, obra principal del Proyecto Chira – Piura . (Quintana, 2006)*

*Este reservorio viene sufriendo una Sedimentación acelerada de su embalse, producto de la falta de manejo coordinado de la cuenca del Río Chira, falta de estudios adecuados en la etapa de diseño, sobre todo sedimentológicos, y especialmente producto de los últimos fenómenos del Niño (1983, 1998) en la región, los cuales aumentaron la carga anual promedio de sedimentos en más de trece veces la carga anual promedio del reservorio . (Quintana, 2006)*

*Es por eso que, ante semejante situación, la Universidad de Piura, mediante el IHHS, ha impulsado y apoyado el desarrollo de esta tesis guiada por los asesores, planteando dos alternativas de descolmatación, como son la de implementar un sistema de Hidrosucción y realizar una operación de Purga (operación de limpieza por aberturas de compuertas) . (Quintana, 2006)*

“La primera alternativa está orientada al manteniendo del reservorio mismo, y la segunda a recuperar el volumen perdido por el proceso de sedimentación acelerada que viene sufriendo el reservorio” (Quintana, 2006).

*Cabe resaltar que estas dos posibles soluciones son realmente económicas en comparación con las otras alternativas de solución (elevación de corona de presa, construir otras estructuras hidráulicas aguas arriba del río Chira, las cuales como veremos en el desarrollo del presente trabajo son mucho más costosas) propuestas por el Proyecto Chira – Piura . (Quintana, 2006)*

**Carrion, R (2004);** en su tesis: **“Análisis de los efectos del Fenómeno El Niño en el año 1998 en la Presa Los Ejidos”**. Universidad de Piura. “La presa Los Ejidos es una estructura importante, porque a través de ésta se puede irrigar el valle del Bajo Piura, por eso es necesario realizar el análisis de

los efectos que produjo el Fenómeno del Niño en el año 1998” (Carrión, 2004, p.7).

La investigación se realizó en tres etapas:

1. “Investigación Bibliográfica: Consistió en estudiar los principios básicos de tres temas para este estudio como son el Sistema de Hidrosucción de Sedimentos, Disipadores de Energía y Capacidad de una presa, recopilando informes de investigadores que han abarcado estos temas” (Carrión, 2004, p.7).

2. “Recopilación de información básica y trabajo de laboratorio: Se consiguió planos de la presa, datos de avenidas máximas, estudios hechos en la presa” (Carrión, 2004, p.7). “También se recogió muestras del sedimento depositado en el embalse realizándose ensayos de laboratorio para el diseño del Sistema de Hidrosucción” (Carrión, 2004, p.7).

3. “Evaluación: Se realizan los cálculos teóricos y los resultados se comparan con los existentes in situ determinando recomendaciones a seguir en un período a corto plazo” (Carrión, 2004, p.7). “Para el sistema de hidrosucción se realiza un diseño y se proponen pautas para la instalación y operación del sistema” (Carrión, 2004, p.7).

### **2.1.3. A Nivel Local**

**Jahnsen, M (2013);** en su tesis: **“Impacto de la represa Gallito Ciego en la pérdida de tierras de cultivo por salinización en la cuenca baja del río Jequetepeque 1980 - 2013”**. Pontificia Universidad Católica Del Perú. “La presente tesis tuvo como objetivo evaluar el impacto de la construcción de la represa Gallito Ciego en la pérdida de tierras de cultivo por salinización en la cuenca baja del río Jequetepeque durante el periodo 1980-2003” (Jahnsen, 2013, p.7). “Específicamente, se estudió el sector comprendido entre la carretera Panamericana Norte y la desembocadura del río en el océano Pacífico que abarca los distritos de Jequetepeque y Guadalupe en la provincia de Pacasmayo” (Jahnsen, 2013, p.7).



“Para el desarrollo de esta tesis se llevó a cabo un análisis cartográfico espacial-temporal” (Jahnsen, 2013, p.7). “A través del trabajo con fotografías aéreas e imágenes satelitales se reconstruyeron las áreas de cultivo en los años 1980 (periodo anterior a la represa) y 2003” (Jahnsen, 2013, p.7). “Luego se procedió a evaluar la pérdida de tierras de cultivo en el periodo 1980-2003, identificando los lugares donde se habían reducido las áreas de cultivo” (Jahnsen, 2013, p.7).

“Paralelamente, se llevó a cabo la toma de muestras de suelos en campo y análisis en el laboratorio. Los parámetros analizados incluyeron textura, materia orgánica, pH y conductividad” (Jahnsen, 2013, p.7). “Los resultados de laboratorio permitieron conocer el estado actual de los problemas desalinización de suelos en el área de estudio. También se realizaron mediciones de salinidad encampo con el mismo objetivo” (Jahnsen, 2013, p.7).

“A través del análisis cartográfico se observó una pequeña ampliación de la frontera agrícola en el periodo 1980-2003” (Jahnsen, 2013, p.7).

*Al comparar el cambio en la extensión de áreas de cultivo se pudo observar que, para el año 2003, hay una pérdida de 256.19 ha de superficies cultivables y, en contrapartida, un incremento de 298.38 ha de cultivo, dando, a nivel global una ampliación de la frontera agrícola de 42.19 ha . (Jahnsen, 2013, p.7)*

“Sin embargo, el interés de esta investigación se centra en la pérdida de tierras de cultivo; es decir, aquellas áreas que se encontraban aptas para el cultivo en el año 1980 y se perdieron para el año 2003” (Jahnsen, 2013, p.7).

*La observación de las fotografías aéreas e imágenes satelitales permitió sugerir que la pérdida de 256.19 ha de áreas de cultivo en este periodo podía relacionarse a cambios en el régimen del caudal del río y a la expansión urbana en los alrededores del pueblo de Jequetepeque . (Jahnsen, 2013, p.7)*

“De igual forma, el análisis de muestras de suelo en el laboratorio permitió evaluar si existía un problema de salinidad de suelos que pudiera explicar esta pérdida de tierras de cultivo” (Jahnsen, 2013, p.7). “Los resultados del análisis de conductividad eléctrica demostraron que la mayor parte de las muestras analizadas podían ser calificadas como *no salinas* o *ligeramente salinas*” (Jahnsen, 2013, p.7).

*Esto llevó a concluir que, si bien las condiciones de salinidad de los suelos podían afectar en cierto grado la productividad de algunos cultivos sensibles, a nivel general, no tendrían un impacto tan grave como para ocasionarla pérdida de tierras de cultivo . (Jahnsen, 2013, p.7-8)*

“Por otro lado, los resultados del análisis textural permitieron identificar que la mayor parte de los suelos presentaban texturas gruesas que favorecen el lavado de sales” (Jahnsen, 2013, p.8). “El contenido de material orgánica, por su parte, se encontró dentro del rango de 2 a 11%” (Jahnsen, 2013, p.8). “De igual forma, los resultados del análisis de pH se encontraron en el rango de 7.83 - 8.88, presentando la mayor parte de las muestras pH moderadamente alcalinos” (Jahnsen, 2013, p.8). “Debido a que no se contó con un estándar adecuado para interpretar los resultados de las mediciones en campo con el conductímetro portátil, se consideró conveniente tomar estos datos de carácter referencial” (Jahnsen, 2013, p.8).

*Sin embargo, los resultados alcanzados tanto en el análisis cartográfico espacial-temporal (1980 –2003) como en el análisis de las muestras de suelo en laboratorio sugirieron que la pérdida de tierras de cultivos por salinización no fueron significativas a partir de la construcción de la Represa Gallito Ciego . (Jahnsen, 2013, p.8)*

**Ríos, N (2013); en su tesis: “Estudio químico de sedimentos de la Represa de Gallito Ciego como contribución al estudio de calidad ambiental**

**del reservorio**". Pontificia Universidad Católica Del Perú. La presente tesis tiene como objetivo "contribuir con la caracterización fisicoquímica de los sedimentos de la represa de Gallito Ciego para la identificación de los impactos más significativos" (Ríos, 2013, p.2).

*Así mismo, aportar con una base de datos actualizada para el proyecto interdisciplinario Diagnóstico Ambiental de Represas en la Costa Peruana (DGI 70245.0110), cuyo caso de estudio es la mencionada represa, que busca aportar medidas para la mitigación de los impactos encontrados . (Ríos, 2013, p.2)*

"En el desarrollo de este trabajo se utilizaron metodologías adecuadas de muestreo y de análisis de laboratorio" (Ríos, 2013, p.2). "Para tal motivo se realizaron tres campañas de trabajo de campo. La primera fue de reconocimiento del área de estudio entre el 1 y 3 de agosto del 2011" (Ríos, 2013, p.2). "La segunda y tercera campañas se llevaron a cabo entre el 27 y 29 de febrero del 2012 y entre el 5 y 7 de agosto del 2012, respectivamente" (Ríos, 2013, p.2). "Para el análisis de laboratorio se realizó una cuidadosa preparación de muestras y las determinaciones se basaron en métodos estandarizados o adaptaciones" (Ríos, 2013, p.2).

"Los análisis revelaron que el pH de los sedimentos era neutro a básico; la conductividad y el contenido de cloruros no poseen gran variabilidad y se encuentran dentro de los rangos esperados" (Ríos, 2013, p.2). "El contenido de carbonatos es mayoritario en la zona de la represa, lo mismo para el contenido de calcio, magnesio, sodio, y metales como hierro, cinc y cobre" (Ríos, 2013, p.2). "Cabe señalar que el contenido de cinc y cadmio superar los estándares de calidad para sedimentos" (Ríos, 2013, p.2). "Con respecto al contenido de nutrientes, los valores de materia orgánica, fósforo y nitrógeno Kjeldahl en los sedimentos son muy bajos para considerar su posible uso agrícola" (Ríos, 2013, p.2). "Por otro lado, según el análisis granulométrico, la clasificación textural de los sedimentos estudiados es de arena limosa, lo cual es característico de este tipo de sistemas" (Ríos, 2013, p.2).

## 2.2. Estado del Arte

“**EI USBR (1995)** realizó estudios de arrastre de sedimentos en el río y en el canal de transporte aguas arriba de la presa Elephant Butte, cerca de Socorro, Nuevo México con objeto de construir un modelo matemático para predecir la erosión y depósito de las arcillas en el Río Grande, así como, pruebas hidráulicas para determinar las características de erosión y depósito de muestras de arcilla, identificadas como elemento crítico”. (Moreno, 2012, p.31-32)

“Realizaron pruebas de laboratorio con el dispositivo denominado TESTFLUME y la prueba de erosión de cilindro giratorio para evaluar el comportamiento de las arcillas muestreadas aguas arriba del embalse” (Moreno, 2012, p.32).

*Como era de esperarse los resultados mostraron que la arcilla tiene un alto esfuerzo cortante, pero los promedios de erosión tenían una alta variación entre una muestra y otra, esta inconsistencia se debe a los diferentes grados de consolidación y la mezcla de materia orgánica la cual genera una erosión localizada . (Moreno, 2012, p.32)*

**Atkinson** propone una metodología para verificar la eficiencia de la remoción hidráulica (*flushing*), su metodología involucra aquellos embalses cuyas características sean vasos encañonados, la disponibilidad de grandes volúmenes de agua pasando a través de la presa y el vaciado total del embalse (*drawdown*), de forma general el criterio es el balance de sedimentos, en el cual la masa de sedimentos extraídos deber exceder la masa depositada y un criterio que evalúa la capacidad de almacenamiento del embalse a mantenerse por un tiempo considerable . (Moreno, 2012, p.32)

## **2.3. Bases Teórico Científicas**

### **2.3.1. La sedimentación en embalses**

#### **2.3.1.1. Sedimentación, proceso y depósito**

*Al interponer un obstáculo a un río, como es el caso de una presa, se origina un estancamiento, por el cual el sedimento transportado se comportará según el siguiente mecanismo: al entrar la corriente al embalse, el material grueso se depositará según la disminución de la velocidad del agua por el efecto de ampliación del cauce y el crecimiento del tirante, formando en la cola del vaso una acumulación de sedimento grueso denominado delta . (Moreno, 2012, p.7)*

“El sedimento más fino continuará hacia adentro del vaso como una corriente de densidad, para posteriormente al detenerse, depositarse en el fondo del mismo” (Moreno, 2012, p.7). “Existen embalses en los que tal corriente no llega a formarse, y se produce en el vaso o en gran parte del mismo, una turbidez generalizada que evolucionará, según la dinámica particular del almacenamiento” (Moreno, 2012, p.7).

*El mecanismo de sedimentación descrito, es en realidad más complejo, ya que depende de muchos otros factores como son la estratificación del embalse por efecto de la radiación solar y la profundidad de éste, forma, dimensiones y características especiales del embalse, operación, características fisicoquímicas del sedimento y las características de la avenida de ingreso, entre otros . (Moreno, 2012, p.7-8)*

“El delta se moverá hacia adentro del embalse según las características de las avenidas y la variación de los niveles en el vaso” (Moreno, 2012, p.8). “En los grandes embalses, la formación del delta tiene importancia por el efecto que causa hacia aguas arriba del río y por el volumen que ocupa dentro

del vaso” (Moreno, 2012, p.8). “El remanso en ocasiones inunda áreas que antes de la formación del delta no se inundaban” (Moreno, 2012, p.8). “Sin embargo, existen casos en los que la penetración del material grueso dentro del vaso llega a ser tan acentuada, que pone en peligro las instalaciones en la cortina” (Moreno, 2012, p.8).

*“Cuando la presa no es muy grande y sus extracciones son muy frecuentes, es posible que el delta ocupe gran parte del vaso y en tal caso, el sedimento grueso sí constituye la principal pérdida de capacidad, ya que gran parte del material fino muy probablemente no será retenido pues continuará hacia aguas abajo . (Moreno, 2012, p.8)*

“El material que se deposita en el fondo del embalse, estará sujeto a una compactación al transcurrir el tiempo” (Moreno, 2012, p.8). “Este efecto se verá acentuado al cambiar sensiblemente los niveles en el vaso, haciendo que se produzca un alternado secado y saturación del material sedimentado” (Moreno, 2012, p.8). “Esto induce dos problemas, uno, es el cambio de volumen depositado a través del tiempo que repercute en la cantidad de agua almacenada, y otro, es la dificultad de remover sedimento altamente compactado” (Moreno, 2012, p.8).

“Las corrientes de densidad, aunque son un fenómeno que fácilmente se puede generar en laboratorio, su detección en campo presenta grandes dificultades” (Moreno, 2012, p.8). “Por esta razón, no ha sido posible definir una clara relación entre los trabajos teóricos y el fenómeno real” (Moreno, 2012, p.8). “Esto es particularmente importante, porque el manejo de una corriente de densidad, permitiría, en algunos vasos, aliviar el problema de sedimentación, pues al conocer su comportamiento tal vez pudieran extraerse del embalse antes de que el material que transportan se sedimentara” (Moreno, 2012, p.8).

*Cuando la corriente de densidad no llega a formarse, y sólo se genera turbidez en el embalse, lo cual generalmente ocurre con concentraciones bajas de sedimento, el problema principal no radica*

*en la cantidad depositada, sino en la afectación de la calidad del agua . (Moreno, 2012, p.8-9)*

### **2.3.1.2. Origen y propiedades de los sedimentos**

“El nombre de sedimentos se da a las partículas procedentes de las rocas o suelos, que son acarreadas por las aguas que escurren y por los vientos” (Moreno, 2012, p.9).

*Todos estos materiales, después de cierto acarreo, finalmente son depositados a lo largo de los propios cauces, en lagos, lagunas, en el mar y las partes bajas de la cuenca, principalmente en la planicie, lo que da origen a la formación de ésta y a su levantamiento . (Moreno, 2012, p.9)*

“El sedimento que se deposita en un gran cuerpo de agua recibe de ésta su estructura y carácter finales” (Moreno, 2012, p.9).

### **2.3.1.3. Fuentes de los sedimentos**

“No es posible indicar con precisión todas las fuentes que producen los sedimentos que llegan a un río y son acarreados por su corriente” (Moreno, 2012, p.11). “Sin embargo, de acuerdo con la definición anterior, la fuente principal la constituyen los suelos y rocas que se encuentran en su cuenca, y el agua y el viento son, en nuestro medio, los principales agentes de erosión y de transporte” (Moreno, 2012, p.11). “Por otro lado, dada la actividad del hombre en el medio que lo rodea, las fuentes del sedimento pueden clasificarse en naturales y artificiales” (Moreno, 2012, p.11).

#### **a) Fuentes naturales**

- “Erosión de la superficie del terreno” (Moreno, 2012, p.11).
- “Erosión del cauce principal y sus tributarios” (Moreno, 2012,

p.11).

- “Movimientos naturales del terreno” (Moreno, 2012, p.11).

#### **b) Fuentes artificiales**

- “Destrucción de la vegetación” (Moreno, 2012, p.14).
- “Obras de ingeniería” (Moreno, 2012, p.14).
- “Explotación de minas y canteras” (Moreno, 2012, p.14).
- “Desechos urbanos e industriales” (Moreno, 2012, p.14).

“Así mismo, en problemas de ingeniería el origen de los sedimentos puede dividirse en tres grupos” (Moreno, 2012, p.14):

- “Sedimentos que se originan en la superficie de la Cuenca” (Moreno, 2012, p.14).
- “Sedimentos provenientes del fondo y orillas de los ríos” (Moreno, 2012, p.14).
- “Sedimentos que provienen de los desechos industriales y urbanos” (Moreno, 2012, p.14).

#### **2.3.1.4. Propiedades de los sedimentos**

“Las características de los sedimentos reflejan los procesos de erosión, el transporte y el depósito del material erosionado de la superficie de la cuenca” (Moreno, 2012, p.14).

*La densidad, el tamaño y la forma de las partículas influyen determinantemente en las varias etapas del transporte de sedimentos, que es de gran interés para el diseño de obras hidráulicas, como puede ser la estimación de volúmenes de azolve en vasos . (Moreno, 2012, p.14)*



“Desde el punto de vista de la resistencia que oponen a ser arrastrados y de su comportamiento al ser transportados, se distinguen tres clases de material” (Moreno, 2012, p.14):

- “No cohesivo o granular o friccionante” (Moreno, 2012, p.14)
- “Cohesivo” (Moreno, 2012, p.14).
- “Rocoso” (Moreno, 2012, p.15).

“Las propiedades individuales de las partículas que constituyen un suelo granular son las siguientes” (Moreno, 2012, p.15):

- “Peso específico” (Moreno, 2012, p.15).
- “Forma” (Moreno, 2012, p.15).
- “Tamaño” (Moreno, 2012, p.15).
- “Velocidad de caída” (Moreno, 2012, p.15).

“Los sedimentos naturales están constituidos por una gran variedad de partículas que difieren entre sí en tamaño y forma principalmente” (Moreno, 2012, p.18).

“El comportamiento de una partícula aislada, sujeta a la acción de un flujo, difiere de aquel que presenta cuando está formando parte de un conjunto” (Moreno, 2012, p.18). “Por ello, a fin de entender la dinámica de los sedimentos, es necesario conocer también las propiedades referentes a un conjunto grande de partículas, de las cuales las más importantes son” (Moreno, 2012, p.18):

- “Distribución granulométrica” (Moreno, 2012, p.19).
- “Peso volumétrico” (Moreno, 2012, p.19).

“Cuando las partículas finas son puestas en suspensión, pueden permanecer algún tiempo en ese estado, para determinar su comportamiento es necesario conocer” (Moreno, 2012, p.19):

- “La concentración de partículas en suspensión” (Moreno, 2012, p.19).
- “La viscosidad de un líquido con material en suspensión” (Moreno, 2012, p.19).
- “El peso específico de un líquido con material en suspensión” (Moreno, 2012, p.19).

### **2.3.1.5. Transporte de sedimentos**

“Los sedimentos pueden ser transportados, de diversas formas por el flujo de una corriente, cuando el esfuerzo cortante promedio sobre el fondo del cauce excede el esfuerzo crítico tractivo del material de fondo” (Moreno, 2012, p.19). “El transporte puede ser por rodamiento o deslizamiento sobre el fondo, a saltos dentro del flujo y suspendido o soportado por el flujo durante el tiempo que es transportado” (Moreno, 2012, p.19). “El transporte puede ser también una combinación de las anteriores” (Moreno, 2012, p.19).

“Las arenas, gravas y boleos, sedimentos que generalmente ruedan, se deslizan o avanzan a saltos apoyándose sobre el fondo, estos conforman lo que se conoce como carga de fondo” (Moreno, 2012, p.19).

*Por otra parte, las partículas de material del fondo, que viajan suspendidas por la corriente (carga de fondo en suspensión), en adición con el material fino menor que 0.062 mm de la superficie de la cuenca, como son limos y arcillas que son arrastrados por el escurrimiento pluvial al cauce (material o carga de lavado), conforman la carga en suspensión . (Moreno, 2012, p.19)*

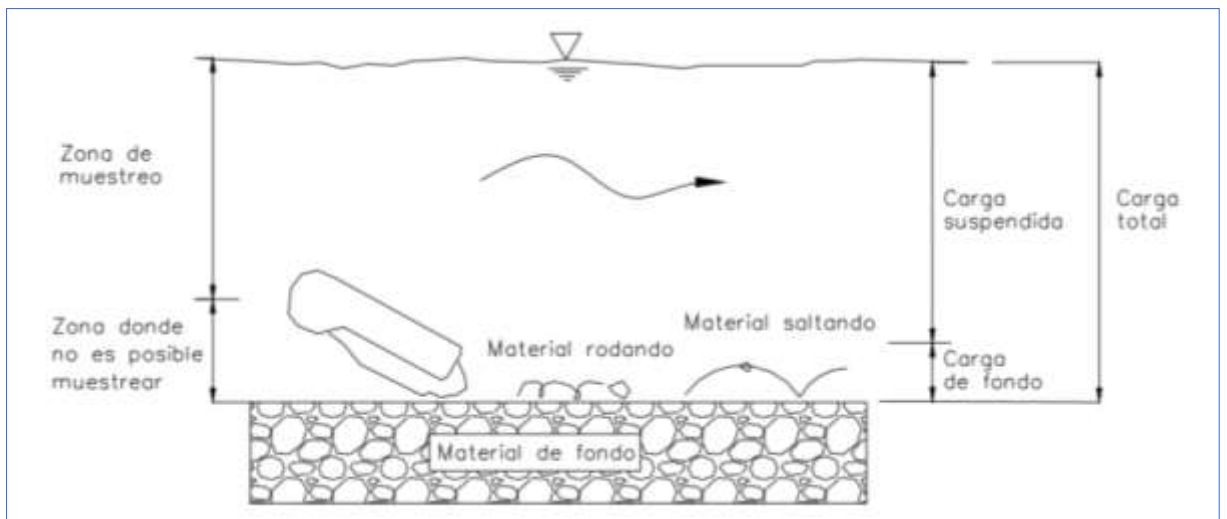
*“Una forma de clasificar el transporte de sedimentos para facilitar la obtención de datos y poder realizar la interpretación de los resultados, se resume en la tabla 6, así mismo se muestra en la figura 6 los conceptos que en ella se mencionan . (Moreno, 2012, p.19)*

**Tabla 6:**

Clasificación del transporte de sedimentos.

TIPOS DE TRANSPORTE	DESCRIPCION
Transporte en la capa de fondo	Material del fondo del cauce que rueda, salta o es arrastrado por la corriente dentro de la capa de fondo.
Transporte de fondo en suspensión	Material del fondo del cauce que es transportado en suspensión debido a la velocidad y turbulencia de la corriente.
Transporte total de fondo	Material de fondo transportado por la corriente tanto dentro de la capa de fondo como en suspensión.
Transporte de lavado	Material generalmente fino (limo y arcillas) transportado en suspensión, el cual es originado en la superficie de la cuenca al ser erosionada por las gotas y el escurrimiento de la lluvia.
Transporte en suspensión	Es constituido por el material de fondo, así como por material de lavado arrastrado de la cuenca por el escurrimiento, los cuales son transportados en suspensión debido a la turbulencia de la corriente y su reducción de peso.
Transporte total	El total del material que es transportado por el río, considera las diferentes fuentes del material y las diferentes formas de transporte.

Fuente: Tomada y adaptada de Aldama et al, 2000.



**Figura 6:** Representación esquemática del transporte de sedimentos.

### 2.3.1.6. Formas en que se deposita el sedimento en un embalse

“Cuando un curso de agua es obstruido, se presenta en el flujo una disminución de la velocidad la cual provoca que los sedimentos que transporta comiencen a depositarse” (Moreno, 2012, p.21). “La carga de fondo y las partículas suspendidas son depositadas inmediatamente formando depósitos en forma de deltas, mientras que los sedimentos finos cuya velocidad de caída es menor son llevados dentro del embalse” (Moreno, 2012, p.21).

“Un embalse formado por una sola corriente y con pocos tributarios operado con un nivel constante, presenta un esquema de depósito simple” (Moreno, 2012, p.21). “Sin embargo eso no ocurre para todos los embalses, debido a las diversas condiciones morfológicas que presentan, estas pueden ser las condiciones hidrológicas, el tamaño de las partículas y la geometría del embalse” (Moreno, 2012, p.21).

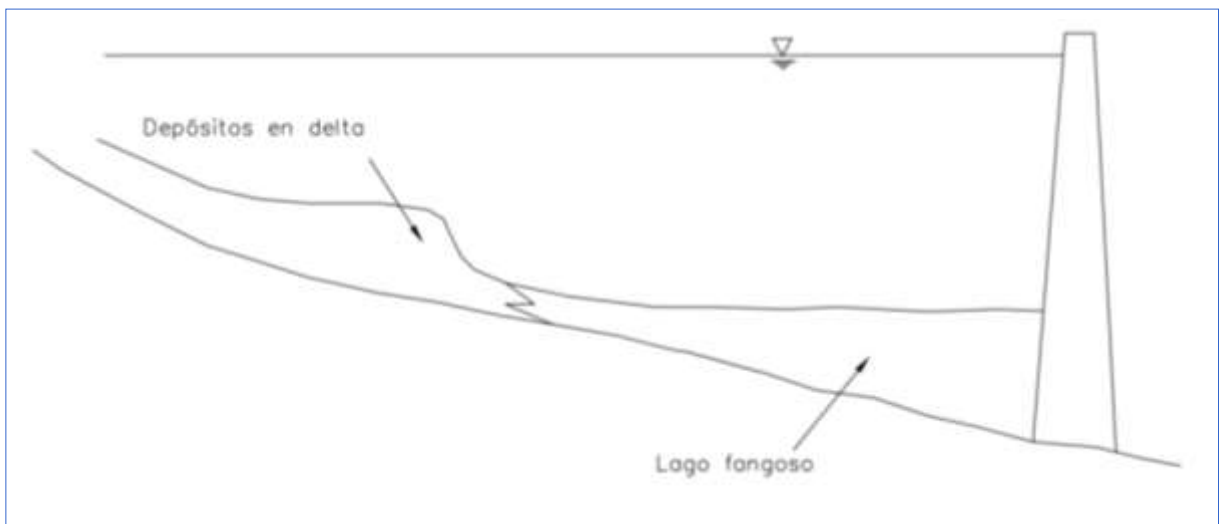
*En embalses en que los niveles fluctúan o bien permanecen vacíos durante ciertos periodos, los sedimentos pueden compactarse debido a las variaciones de humedad y en otros casos puede ser erosionado por acción del agua al bajar su nivel, la cual modifica la pendiente del cauce . (Moreno, 2012, p.21)*

“Los sedimentos son transportados dentro del embalse hacia las zonas de depósito siguiendo alguno de los siguientes procesos” (Moreno, 2012, p.21-22):

- “Transporte de material grueso en forma de carga de fondo a lo largo de la zona alta del delta” (Moreno, 2012, p.22).
- “Transporte de material fino en forma de corrientes de densidad” (Moreno, 2012, p.22).
- “Transporte de finos en forma de corrientes no estratificadas” (Moreno, 2012, p.22).

### **2.3.1.6.1. Zonas de depósito**

Las zonas de depósito longitudinales en un embalse pueden dividirse en tres, (Ver figura 7), la parte alta que corresponde a la zona del delta en donde los sedimentos se depositan rápidamente, la parte media que avanza dentro del embalse y se caracteriza por tener una pendiente alta y un decremento en el tamaño de las partículas, y la parte baja formada por los sedimentos de grano fino formadas por corrientes de densidad o flujo no estratificado . (Moreno, 2012, p.25)



**Figura 7:** Esquema general de las zonas de depósito en un embalse.

### **2.3.1.6.2. Geometría de las zonas de depósito longitudinal**

“La geometría de estas varía enormemente de un embalse a otro, esto debido a la geometría del vaso, el gasto y tamaño de las partículas, las características de la carga de entrada y la operación del embalse” (Moreno, 2012, p.25). “Estos depósitos muestran cuatro esquemas básicos (figura 8), que dependen de la entrada de sedimentos y operación del embalse, y son” (Moreno, 2012, p.26):

#### **a) Depósito en deltas**

“Formado por la fracción gruesa del sedimento, el cual se deposita en la zona de entrada del flujo al embalse ( $D > 0.062$  mm), en ocasiones puede contener fracciones de material fino como limos” (Moreno, 2012, p.26).

#### **b) Depósito en cuña**

“Estos depósitos son muy gruesos al pie de la cortina y se van haciendo delgados hacia aguas arriba. Este esquema es típico de los sedimentos que son depositados por corrientes de densidad” (Moreno, 2012, p.26).

*Los depósitos en forma de cuña se pueden encontrar en pequeños embalses en los que la captación de sedimentos es grande, así mismo en un embalse grande cuyo nivel de operación es bajo durante avenidas, favoreciendo que el sedimento sea llevado cerca de la cortina . (Moreno, 2012, p.26)*

#### **c) Depósitos adelgazados**

“Ocurren cuando el depósito se adelgaza progresivamente conforme se va acercando a la cortina, es común en embalses que mantienen un nivel alto” (Moreno, 2012, p.26).

#### **d) Depósito uniforme**

“Son poco usuales pero pueden ocurrir, y se presentan en embalses encañonados con fluctuaciones frecuentes en los niveles del mismo” (Moreno, 2012, p.26).

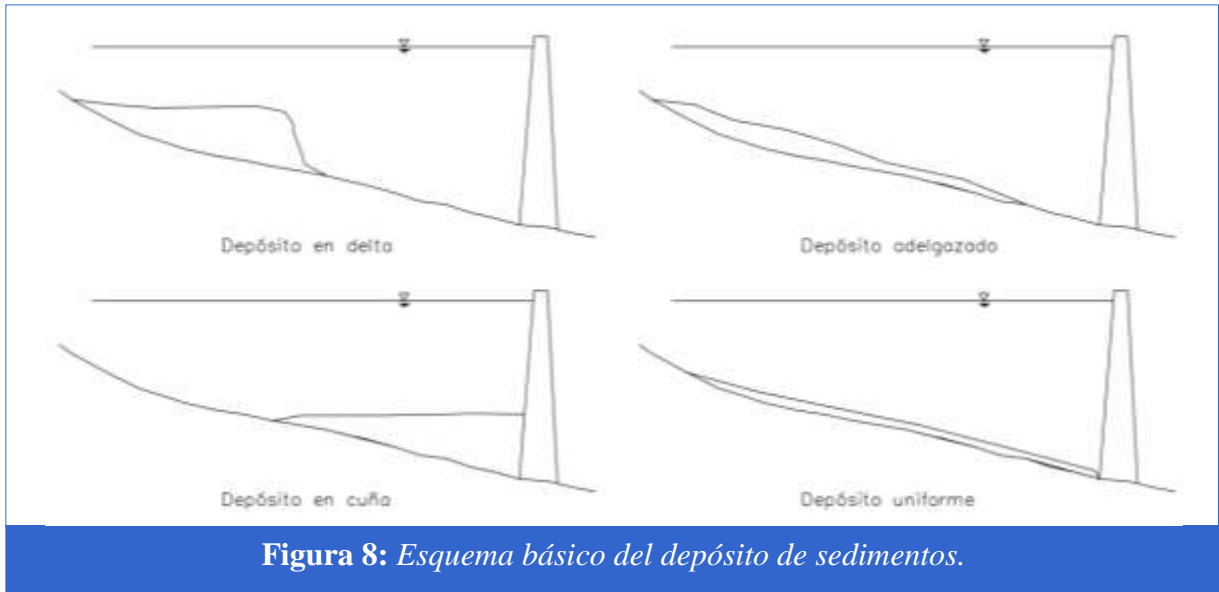
### **2.3.1.6.3. Esquemas de depósito lateral**

“Los sedimentos se depositan, inicialmente en la parte baja de una sección (transversal), formando depósitos que cubren las zonas bajas hasta llenar las depresiones formando capas y presentan una superficie casi horizontal” (Moreno, 2012, p.26-27).

“Existen tres procesos que contribuyen a la concentración de sedimentos en las partes bajas de las secciones transversales, los cuales son” (Moreno, 2012, p.27):

- “El transporte y depósito de sedimentos a lo largo del cauce producido por la erosión aguas arribas” (Moreno, 2012, p.27).
- “El perfil vertical de concentraciones logarítmicas dentro de la columna de agua que puede concentrar los sedimentos suspendidos en las partes bajas de la sección transversal” (Moreno, 2012, p.27).
- “La distribución uniforme de los sedimentos suspendidos a lo largo de la sección transversal y su asentamiento en caída vertical, el depósito de sedimentos será directamente proporcional al tirante en la sección” (Moreno, 2012, p.27).

“La importancia relativa de estos procesos varía de un embalse a otro, así mismo, las corrientes de densidad son de gran importancia para poder explicar la distribución de sedimento fino dentro de un embalse” (Moreno, 2012, p.27).



**Figura 8:** *Esquema básico del depósito de sedimentos.*

### 2.3.1.7. Cálculo del aporte de sedimentos

“Para determinar la cantidad de sedimentos que entra a un embalse existen procedimientos, tales como” (Moreno, 2012, p.28):

- a) “Medición directa dentro del embalse” (Moreno, 2012, p.28).
- b) “Aforo del transporte de sedimento en la corriente de entrada” (Moreno, 2012, p.28).
- c) “Métodos teóricos” (Moreno, 2012, p.28).

“Evidentemente, la aplicación de cada uno de ellos dependerá de la información disponible y del grado de precisión deseado” (Moreno, 2012, p.28).

*Determinar la cantidad de material sólido que entra en un embalse, es sin duda uno de los aspectos más importantes en el estudio del problema de sedimentación, pero también es la parte más difícil de evaluar y donde se han logrado menos avances . (Moreno, 2012, p.28)*



“El principal medio para evitar el problema de pérdida de capacidad de un embalse, es disminuir la erosión en las cuencas, incluso es la principal solución recomendada” (Moreno, 2012, p.28).

#### **2.3.1.7.1. Medición directa de sedimentos depositados en un embalse.**

“Generalmente este tipo de mediciones se hacen con ayuda de fotografía aérea y levantamientos topográficos cuando el vaso se vacía, y batimétricos cuando el sedimento está constantemente sumergido” (Moreno, 2012, p.28).

“La frecuencia con que deben hacerse las mediciones de sedimento depositado, dependen del tipo de embalse y de la disponibilidad técnico-económica para realizarlas” (Moreno, 2012, p.28). “Se pueden hacer cuando se estima que ha perdido el 5% de la capacidad, o realizarlo antes y después de cada época de avenidas” (Moreno, 2012, p.28).

#### **2.3.1.7.2. Determinación del transporte de sedimento y aforo.**

“Para determinar el transporte de fondo o en suspensión además del aforo directo, existen una gran cantidad de métodos para hacer la cuantificación, como Meyer- Peter y Muller, Frijlink, Bagnold, Van Rijn Engelund, Einstein, Brooks, etc.” (Moreno, 2012, p.29).

“Es necesario señalar, que en muchos casos se considera que existe una relación fija entre el transporte de fondo y el que viaja en suspensión, sin embargo, algunas veces puede ser muy variable debido a factores geológicos y climáticos” (Moreno, 2012, p.29).

#### **2.3.1.7.3. Métodos teóricos para el cálculo del aporte de**

## **sedimento.**

*De lo mencionado anteriormente, se puede observar que lo indicado en el inciso (2.3.1.7.1.) es solo aplicable a embalses ya construidos, y obviamente refleja claramente el depósito de sedimento en el embalse, en cuanto al inciso (2.3.1.7.2.), también es un procedimiento factible para la cuantificación del sedimento susceptible de depositarse en el embalse . (Moreno, 2012, p.29)*

“Sin embargo, con ambos procedimientos no es posible determinar cuál sería el depósito, si durante la vida del embalse cambiaran las condiciones de la cuenca de aporte o las características de la corriente” (Moreno, 2012, p.29-30). “Visto de otra manera, en los nuevos proyectos de embalses, donde las mediciones de transporte de sedimento no son suficientes o bien no existen, el problema de determinar el aporte de sedimento se vuelve difícil” (Moreno, 2012, p.30).

“Por esta razón, se han desarrollado diversos métodos para determinar, a partir de las características de la cuenca y del régimen de lluvias el posible aporte de sedimento” (Moreno, 2012, p.30).

“El método que hasta el momento parece ser el más prometedor, es la Fórmula Universal de Pérdida de Suelos (USLE, por sus siglas en inglés), propuesta por Wischmeier y Smith” (Moreno, 2012, p.30).

“Este criterio originalmente empleado para determinar el aporte de sedimento en pequeñas extensiones de terreno, ha sido modificado para emplearse en cuencas” (Moreno, 2012, p.30).

*Para cuantificar el material sólido transportado por un río y que puede llegar a depositarse en un vaso de almacenamiento de agua, es necesario conocer ciertas propiedades de los sedimentos que forman el cauce, exponer las características de la estratificación*

*térmica en los embalses, que tienen un efecto importante en la dinámica de las corrientes de densidad y algunos conceptos inherentes al azolve de las presas . (Moreno, 2012, p.30)*

“De las propiedades de los sedimentos que forman el cauce, deben considerarse además las del agua, tales como el peso específico y la densidad o masa específica” (Moreno, 2012, p.30).

*De las partículas finas que son puestas en suspensión es conveniente conocer la concentración de sedimentos en suspensión, que representa la cantidad de partículas contenida en el seno de un líquido, también el peso específico de la mezcla de líquido y material en suspensión . (Moreno, 2012, p.30)*

## **2.3.2. Métodos para extracción de sedimentos.**

### **2.3.2.1. Remoción de sedimentos.**

#### **2.3.2.1.1. Métodos para prevenir la entrada de sedimentos al embalse.**

“Existen varios métodos capaces de prevenir la entrada de sedimentos a los depósitos, se mencionan solo brevemente, pues la preocupación principal de este trabajo es, ocuparse de la extracción del sedimento sumergido” (Moreno, 2012, p.42).

“La consideración del control del sedimento se debe comenzar en la etapa de planeación. La selección de un sitio favorable (área de captación con baja producción de sedimento) puede tener un efecto positivo” (Moreno, 2012, p.42).

*La mejor manera de reducir al mínimo la entrada de sedimento a un depósito, es tomar medidas de control del sedimento en el área de captación (creación de una cubierta*

*de vegetación, de una repoblación forestal, terraplenes, etc.) y en los diferentes afluentes (estabilización de los bancos de depósitos del cauce de río) . (Moreno, 2012, p.42-43)*

“Una manera muy eficaz de guardar el sedimento grueso de entrada al depósito es construir presas auxiliares de control de sedimento aguas arriba” (Moreno, 2012, p.43).

*En casos de topografía favorable puede ser considerado también un túnel de puente (by-pass) a través del cual el flujo cargado de sedimento pesado se puede verter antes de entrar en el depósito y transportarlo de nuevo al río hacia aguas abajo del embalse . (Moreno, 2012, p.43)*

#### **2.3.2.2. Sistemas para el control de la sedimentación.**

“Existen diversas alternativas para evitar la sedimentación dentro de un embalse, sin embargo la solución no depende de la aplicación de una sola técnica, sino de la combinación de varias de acuerdo a cada problema en particular” (Moreno, 2012, p.43).

##### **2.3.2.2.1. Métodos indirectos.**

“El mejor procedimiento para evitar la pérdida de capacidad en los embalses es la prevención de la erosión de los suelos de las cuencas mediante prácticas de conservación de suelo y agua” (Moreno, 2012, p.43).

*Detener la pérdida de suelo implica no sólo atenuar el problema de sedimentación en embalses, sino también impedir que se pierda el suelo normalmente útil para fines agrícolas y forestales y; que además es no renovable desde el punto de vista práctico así como favorecer la recarga. Sin embargo en los casos de grandes cuencas, con condiciones*

*naturales pobres, los trabajos de conservación de suelos pueden ser difícilmente realizables en corto tiempo sobre todo si se piensa que en muchas ocasiones se necesita de un trabajo de reeducación de los usuarios, además de un apoyo inicial importante que normalmente es costoso y que requiere de tiempo para revertir los beneficios sobre los usuarios . (Moreno, 2012, p.43)*

#### **2.3.2.2.2. Métodos de diseño.**

“Las soluciones a nivel de diseño no se refieren únicamente a los nuevos proyectos, aún en casos de embalses en operación, es posible revisar y rediseñar algunos aspectos que contribuyan a evitar el problema de la sedimentación” (Moreno, 2012, p.44). “Las principales soluciones son las siguientes” (Moreno, 2012, p.44):

- a) “Selección adecuada del sitio para ubicar al embalse” (Moreno, 2012, p.44).
- b) “Determinar adecuadamente la capacidad reservada para azolves” (Moreno, 2012, p.44).
- c) “Reducir la capacidad de retención de azolve” (Moreno, 2012, p.44).
- d) “Intercepción del sedimento antes del embalse” (Moreno, 2012, p.44).

#### **2.3.2.2.3. Soluciones directas.**

“Son aquellas en las que se hace una remoción del sedimento depositado dentro del vaso, estas consisten en la remoción de sedimentos depositados en el embalse” (Moreno, 2012, p.46). “Estas soluciones

pueden clasificarse en tres: técnicas de dragado, remoción hidráulica y remoción por medio de un sifón a flujo crítico” (Moreno, 2012, p.46).

### **a) Dragado**

“El objetivo del proceso de dragado es mantener la profundidad del embalse y de los canales, poniendo en suspensión los materiales finos que se han asentado dentro del mismo, trasladándolos hasta una zona situada fuera del canal depositándolos en el fondo” (Moreno, 2012, p.46).

*Los dragados comenzaron usando medios similares a los empleados en las excavaciones en tierra firme, como: cucarachas, palas, etc., después surgieron la draga de rosario, con esclava vertical primero, y luego inclinada, que generó un gran desarrollo en los medios de dragado y que permitió su empleo de forma casi general . (Moreno, 2012, p.46)*

“Estos tipos de dragas se llaman de acción mecánica y su trabajo es sencillamente el mismo que hace cualquier elemento de excavación terrestre” (Moreno, 2012, p.46).

“Posteriormente surgieron las llamadas dragas hidráulicas o de succión, basadas en la posibilidad de transportar el material sólido mezclado con el líquido en proporciones aceptables y constituyendo la misma corriente líquida establecida por la bomba, el medio de excavación del terreno” (Moreno, 2012, p.46). “Este método permite realizar no solo el dragado, sino también el transporte por medio de tuberías a distancias variables, de acuerdo con la potencia de la bomba, pérdida de energía por el conducto y accesorios” (Moreno, 2012, p.46).

Las capacidades de dragado a profundidad por diferentes métodos, pueden verse en la tabla 7.

**Tabla 7:**

*Profundidades de dragado para diferentes métodos.*

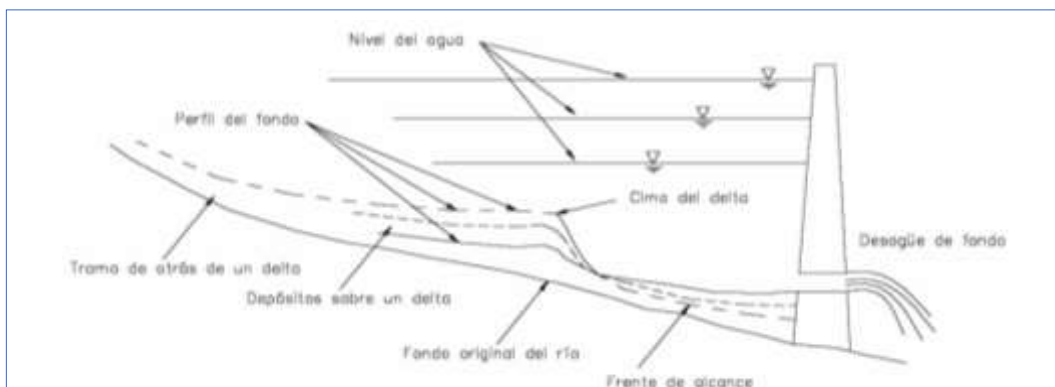
Método	Profundidad de dragado (m)
Dragado por succión	30
Dragado por succión de corte	30
Dragado por succión con bomba sumergible	85
Dragado por cucharón	20
Dragado por escalera	30
Dragado con sistema de gravas	150
Remoción por aire	80
Bombas sumergibles	150

Fuente: Tomada y adaptada de Roovers, 1989.

### ***b) Remoción hidráulica de sedimentos***

*Este método consiste en la remoción de sedimentos del embalse utilizando la fuerza erosiva del agua para socavar los depósitos de sedimentos y pasar la carga de sedimentos junto con el agua a través del embalse, cuando las descargas de fondo de la presa son abiertas . (Moreno, 2012, p.58)*

“La erosión de los sedimentos en un embalse puede ocurrir en dos formas, erosión progresiva y erosión retrogresiva” (Moreno, 2012, p.58); “la primera empieza al final de un tramo aguas arriba y progresa sucesivamente hacia aguas abajo socavando la superficie de los depósitos de sedimento” (Moreno, 2012, p.58), “la segunda procede en dirección opuesta, ésta es más importante dado que la erosión es más fuerte y a gran escala generando un canal de flujo que corta los depósitos de sedimentos” (Moreno, 2012, p.58).



**Figura 9:** *Proceso de remoción hidráulica de sedimentos durante la*

*Si la remoción hidráulica es operada en embalses con depósitos acumulados en la vecindad de la descarga de fondo, estos pueden ser removidos abriendo las válvulas por periodos de tiempo cortos, esto formará un embudo en forma de cráter conocido como cono de remoción . (Moreno, 2012, p.58-59)*

*La importancia de la formación de un cono de remoción, radica en que si es posible que el nivel del embalse sea lo suficientemente pequeño, de tal manera que pueda generarse flujo de alta velocidad, cuando el agua fluya erosionará el borde del cono y se producirá erosión retrogresiva . (Moreno, 2012, p.59)*

“Clasificación de los métodos de remoción hidráulica que son” (Moreno, 2012, p.59):

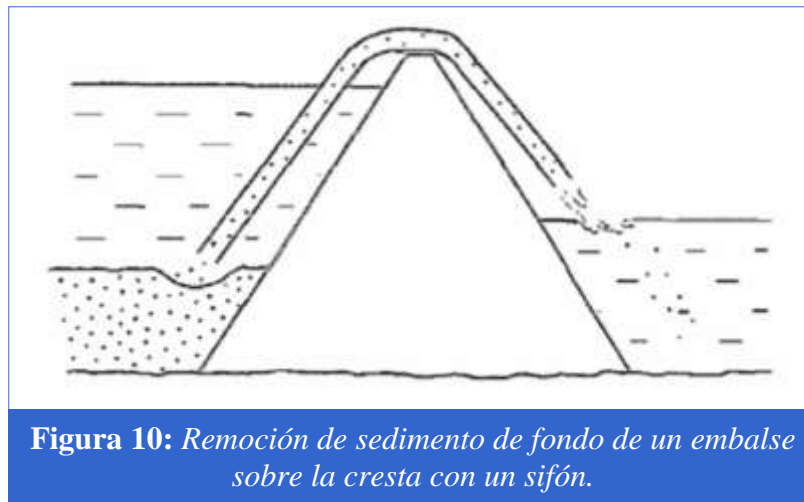
- “Remoción de sedimentos durante avenidas” (Moreno, 2012, p.59).
- “Extracción por chorros de agua” (Moreno, 2012, p.59).
- “Vaciado del embalse y remoción por chorros de agua” (Moreno, 2012, p.59).
- “Desfogue de corrientes de densidad” (Moreno, 2012, p.59).

**c) Retiro de sedimentos con sifón**



“Otro de los métodos de extracción de sedimentos sin la utilización de energía externa es por medio de un sifón, el cual también sustituye a los sistemas de dragado hidráulico de tipo convencional” (Moreno, 2012, p.62); “donde la bomba es sustituida por el efecto de vacío debido a la diferencia de niveles entre la toma de descarga y la toma extractora, ésta genera turbulencia del sedimento asentado, y así, es extraído con mayor facilidad” (Moreno, 2012, p.62).

“Este sistema es de funcionamiento autónomo, es decir, sólo emplea la energía hidráulica disponible por la diferencia de niveles” (Moreno, 2012, p.63).



**Carrión, R (2004)**, “Los primeros datos de hidrosucción se tomaron en el Reservoirio Djidiouia, en Algeria, entre los años 1892 y 1894” (Carrión, 2004, p.52); “se utilizó un sistema que constaba de una plataforma flotante conectada a una tubería sumergida de 61 cm de diámetro y 1600 m de longitud” (Carrión, 2004, p.52).

“La República Popular China, tiene la experiencia más amplia hasta la fecha. Se viene usando el sistema desde 1975 en 10 reservorios” (Carrión, 2004, p.52). “En todos los casos el agua con sedimento fertilizante se

pasa a canales de irrigación aguas abajo para repotenciar la cobertura del suelo y recargar el contenido de nitrógeno” (Carrión, 2004, p.52).

“**Evrard (1980)**, describe un sistema que es usado en la presa Rioumajon en Francia. Una tubería con un diámetro variable de 40 a 45 cm y con 44 m de longitud cubre una presa de 21 m de alto” (Carrión, 2004, p.52).

“**Geolidros S.P.A. (1990)**, ha empleado la hidrosucción por muchos años en los reservorios Alpinos de Italia y otros lugares” (Carrión, 2004, p.52). “En más de 20 años de operación ha removido más de cinco millones de metros cúbicos de sedimento depositado usando tuberías de más de 1500 m de longitud” (Carrión, 2004, p.52).

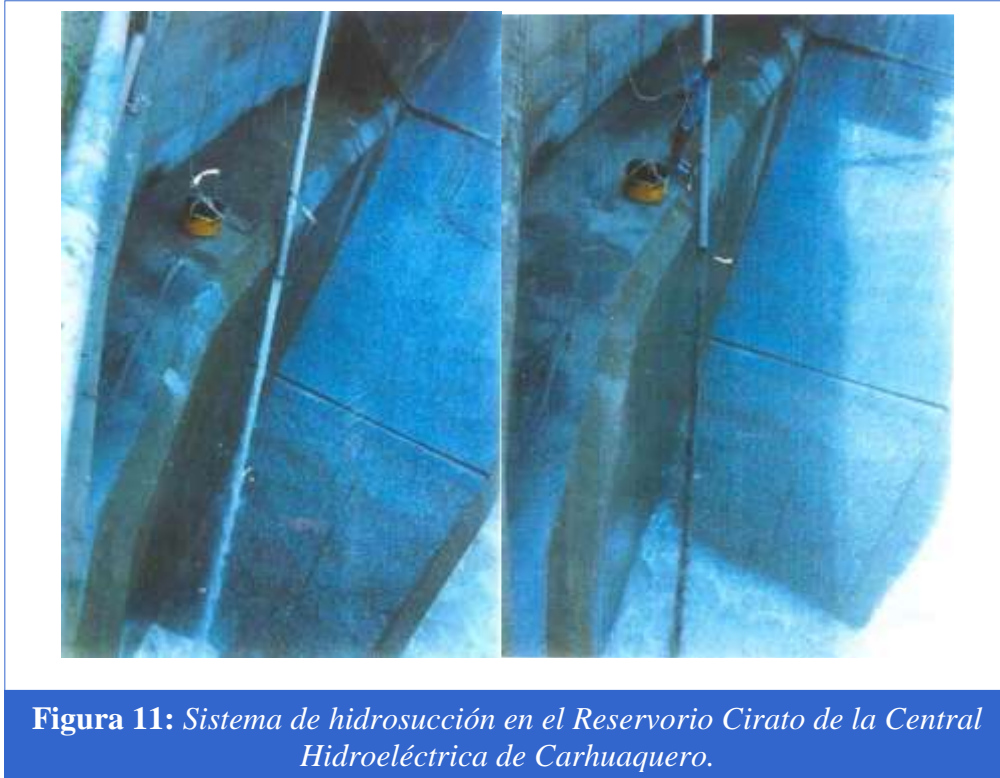
“En los Estados Unidos el sistema ha sido probado minuciosamente en el Lago Atkinson, en Nebraska. Los ensayos de campo han demostrado que diferentes boquillas de succión son capaces de remover totalmente el sedimento depositado” (Carrión, 2004, p.52).

“Ingenieros Noruegos, han desarrollado un tipo de sifón llamado *saxofón* por la forma que tiene, el cual ha sido probado en la Planta Hidroeléctrica de Jhimruk en Nepal (1994)” (Carrión, 2004, p.52). “La tubería es de polietileno de alta densidad (HDPE) de 15 cm de diámetro. El sistema trabaja satisfactoriamente sin ningún tipo de obstrucción, para extraer arena y grava fina” (Carrión, 2004, p.52).

“En el Perú, el Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria (IHHS), de la Universidad de Piura, ha instalado un sistema de hidrosucción en el Reservorio Cirato de la Central Hidroeléctrica de Carhuaquero, el cual se encuentra actualmente en funcionamiento” (Carrión, 2004, p.53).

*Debe mencionarse que este sistema, hasta donde se sabe, es la primera vez que ha sido empleado en nuestro país, y en la actualidad se proyecta instalar otro similar en la*

*Represa Los Ejidos, obra principal de la Segunda Etapa del Proyecto Especial Chira Piura, perteneciente a nuestra región . (Carrión, 2004, p.53)*

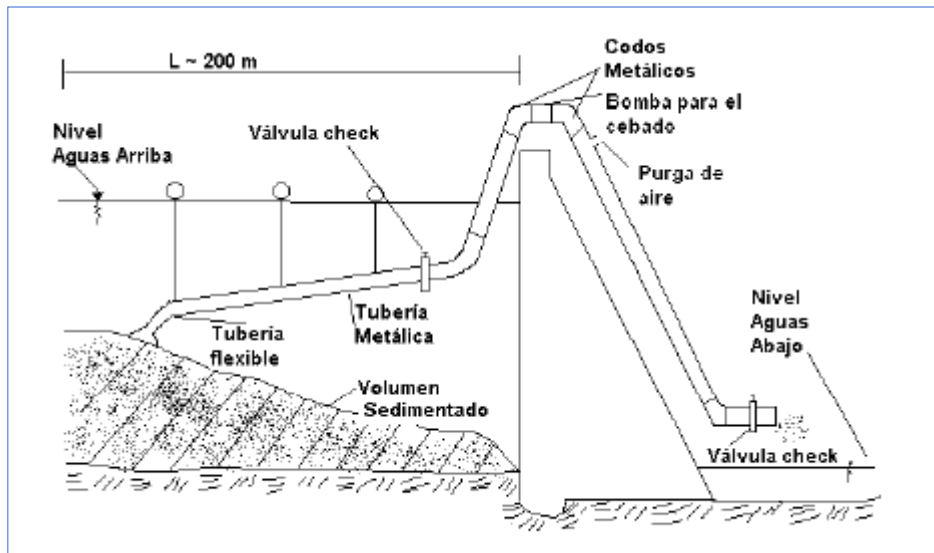


Fuente: IHHS, 2004.

## **1. Descripción del sistema**

**Carrión (2004).** “Es un sistema de tuberías que extraen el sedimento depositado en un embalse y lo transportan aguas abajo, utilizando la energía proporcionada por el desnivel entre aguas arriba y aguas debajo de la presa” (Carrión, 2004, p.53). “Existen dos tipos de configuraciones posibles, uno de ellos es por medio de descargas de fondo y el otro por medio de un sifón. En el primer caso, las tuberías de descarga atraviesan la presa por algún punto bajo” (Carrión, 2004, p.53). “Esto implica que la tubería debe haberse incluido durante la construcción de la presa o fue acondicionada para que pase por algún conducto de fondo existente. La tubería trabaja en todo momento con presión positiva y su operación es muy simple” (Carrión, 2004, p.53). “En el caso de no poder usar la descarga de fondo, la tubería debe pasar por encima de la corona de la presa, en

forma de sifón, para ello es necesario en primer lugar cebar el sifón, para hacerlo funcionar” (Carrión, 2004, p.53). “Esta es la forma usual en que se configura el sistema, pues se trata de solucionar problema de presas ya existentes” (Carrión, 2004, p.53).



**Figura 12:** Descripción del Sistema de Hidrosucción de sedimentos.

Fuente: Carrión Melgarejo Rubén, Tesis: Análisis de los efectos del Fenómeno del Niño en el año 1998 en la presa Los Ejidos. Piura, 2004.

### Inicio de movimiento y captación de sólidos

“Cuando el sistema está en funcionamiento, en la boca de captación se produce un flujo cuasi radial hacia la misma” (Carrión, 2004, p.54). “Si este flujo llega a tener contacto con el sedimento, se produce un esfuerzo de corte en la superficie del mismo que inicia el movimiento y arrastra el sedimento a la boca de la tubería” (Carrión, 2004, p.54).

*Según Reh binder, los análisis teóricos y experimentales demuestran que el mecanismo que inicia la remoción de los granos de sedimento es debido no sólo al cortante viscoso horizontal en la parte superior del sedimento, sino también al flujo dentro del mismo sedimento . (Carrión, 2004, p.54)*

*Cuando el agua situada dentro de los intersticios granulares de sedimento cae dentro del campo de influencia de la boca de succión, se producen fuerzas ascendentes que elevan el sedimento, el cual una vez en suspensión dentro del flujo es succionado hacia la tubería . (Carrión, 2004, p.54)*

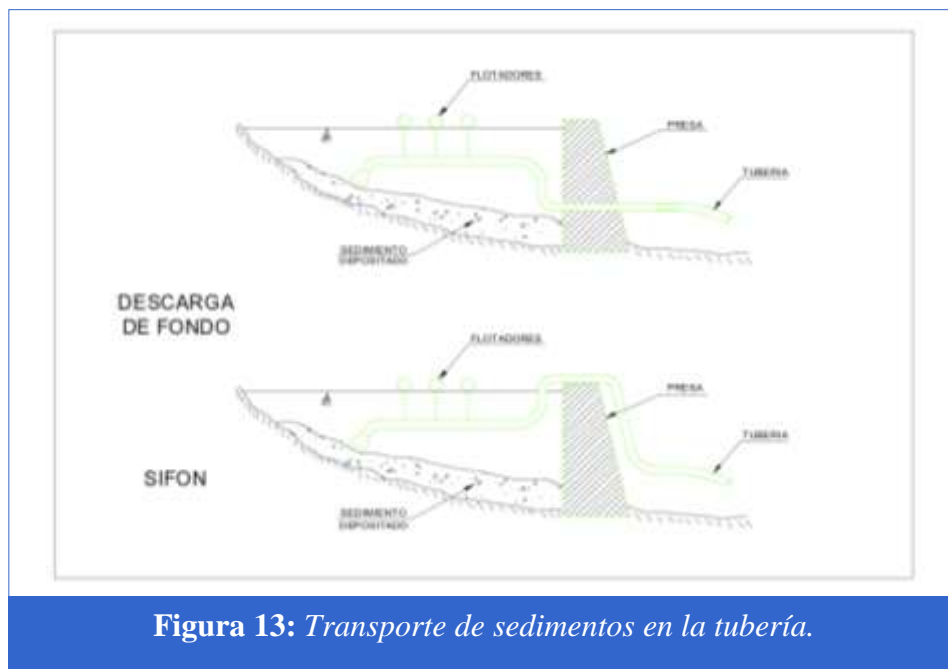
“La succión provoca un cráter en el estrato de sedimento de acuerdo con el campo de flujo que produce la succión” (Carrión, 2004, p.54). “Si la boca permanece inmóvil, después de un cierto tiempo se alcanza una condición de equilibrio (donde el cráter alcanza un tamaño máximo) y el sedimento deja de moverse; es decir la tubería sólo capta agua” (Carrión, 2004, p.54). “Por ello es necesario que la boca se mueva para realizar una extracción continua, para ello se recurre a cables que se dirigen hacia la orilla a desde un bote o barcaza” (Carrión, 2004, p.54).

### **Transporte de sedimento en la tubería**

*Dependiendo de la magnitud de las fuerzas hidrodinámicas que el flujo dentro de la tubería ejerce sobre las partículas de sedimento y de las características propias del material sólido, se pueden tener 02 tipos de transporte de sedimentos: En el transporte de fondo, las partículas se desplazan ocupando la parte baja de la tubería (suponiendo que ésta no sea vertical) y se da generalmente para las partículas de mayor tamaño como arena y grava . (Carrión, 2004, p.54)*

“A este tipo de transporte se la conoce también como flujo con fondo móvil y tiende a crear problemas de mantenimiento en los codos y tramos inclinados, por lo que es preferible evitarlos” (Carrión, 2004, p.54). “Las partículas de menor tamaño se transportan generalmente en suspensión” (Carrión, 2004, p.54). “Si dichas partículas se distribuyen de una manera uniforme en toda la sección transversal de la tubería se denomina flujo pseudo homogéneo,

si no se distribuye uniformemente, se habla entonces de un flujo heterogéneo” (Carrión, 2004, p.54). “El transporte óptimo de sedimento en las tuberías ocurre cuando las partículas de sedimento están a punto de depositarse en la tubería” (Carrión, 2004, p.54). “Esta concentración máxima ocurre en la transición entre los regímenes de flujo heterogéneo o con fondo móvil. A este punto le corresponde también aproximadamente la mínima pérdida de carga” (Carrión, 2004, p.54).



**Figura 13:** *Transporte de sedimentos en la tubería.*

FUENTE: Carrión Melgarejo Rubén, Tesis: Análisis de los efectos del Fenómeno del Niño en el año 1998 en la presa Los Ejidos. Piura, 2004.

## 2. Sifón

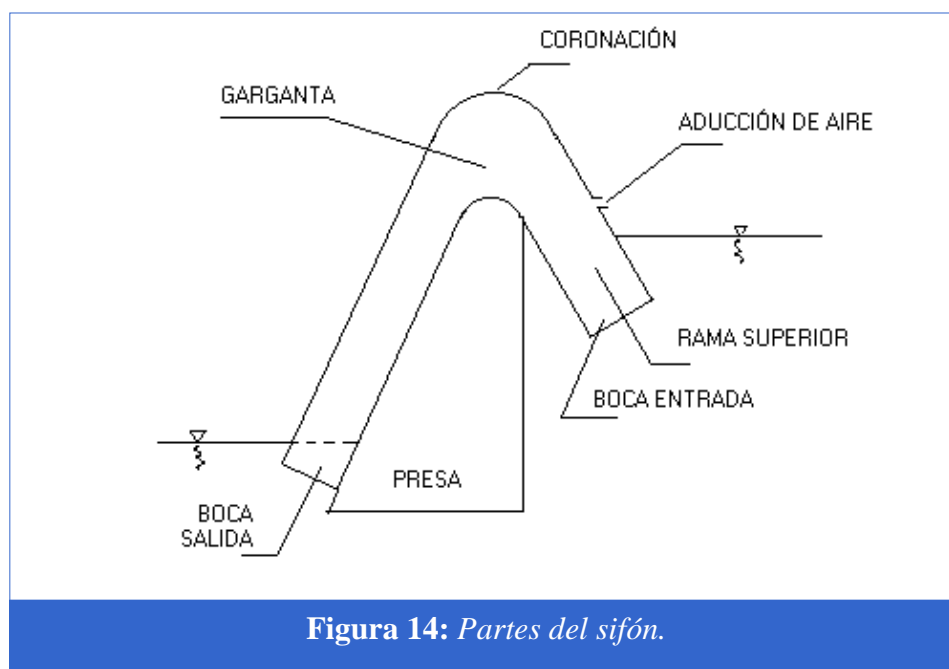
**Leliauski, S (1964):** “El término sifón tiene su origen en la lengua griega  $\Sigma\text{I}\Phi\text{O}\text{N}$ . Luego fue aceptado en el latín como *SIFO*, para posteriormente pasar al castellano como *SIFÓN*” (Carrión, 2004, p.54).

“El sifón se define como un conducto cerrado doblado que forma dos ramas de longitud desigual por donde puede escurrir agua hacia un nivel más bajo, después de pasar por una elevación superior al nivel donde se evacua el agua” (Carrión, 2004, p.55). “Esto es porque la presión atmosférica

obliga al agua a subir por la rama más corta del tubo, mientras que el peso del agua que se vierte por la rama más larga causa un escurrimiento continuo” (Carrión, 2004, p.55).

“Se tendrá una idea clara de la acción sifónica al considerar que el escurrimiento se debe al empuje a presión del aire sobre la superficie del agua superior” (Carrión, 2004, p.55). “Es evidente que no es posible incrementar el escurrimiento de un sifón aumentando la longitud de la rama inferior más allá de un límite sifónico determinado, precisamente, por el empuje del aire” (Carrión, 2004, p.55).

**Partes del sifón:** En la figura 14 se presenta un esquema del sifón con la denominación de sus partes.



**Figura 14:** *Partes del sifón.*

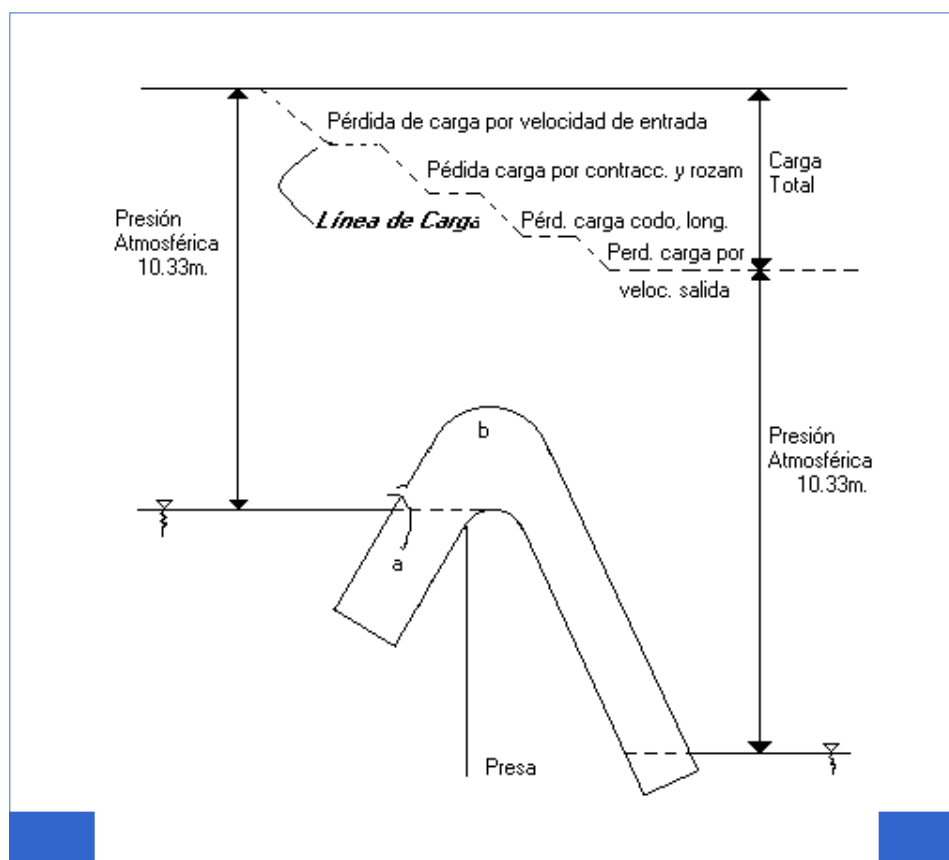
FUENTE: Carrión Melgarejo Rubén, Tesis: Análisis de los efectos del Fenómeno del Niño en el año 1998 en la presa Los Ejidos. Piura, 2004.

### **Disposición general y cebado del sifón**

“En la figura 15 se indica la disposición general del sifón. Las superficies del agua superior e inferior están representadas por la línea punteada

que fue elevada para obtener la presión atmosférica en los extremos del sifón” (Carrión, 2004, p.55).

“Cuando el agua se eleva sobre la coronación b del sifón, vierte por ella” (Carrión, 2004, p.55). “Cuando el nivel continúa subiendo, se cierran hidráulicamente los conductos de aire a (que suelen quedar a la misma altura o ligeramente más elevados que la coronación b), y con ello se cierra la entrada de aire al sifón” (Carrión, 2004, p.55).



FUENTE: Carrión Melgarejo Rubén, Tesis: Análisis de los efectos del Fenómeno del Niño en el año 1998 en la presa Los Ejidos. Piura, 2004.

“El aire que queda confinado en la corona es arrastrado, en parte, por el chorro líquido, disminuyendo con ello la presión en el interior del sifón y, por lo tanto, se eleva el agua por encima del nivel del embalse” (Carrión, 2004, p.56). “Crece así el espesor de la lámina vertiente, determinando mayor arrastre



de aire hasta que éste desaparece. Así, se llena de agua todo el sifón y éste queda cebado” (Carrión, 2004, p.56).

“Sin embargo, si es admitido más aire del que el agua puede transportar, el gradiente baja tanto que el escurrimiento cesa” (Carrión, 2004, p.56).

*Cuando un sifón está funcionando, ya sea con la carga sifónica máxima o mínima, éste continuará descargando indefinidamente mientras que la boca de entrada permanezca sumergida lo suficiente para impedir la entrada de aire, así la boca de salida esté o no sumergida . (Carrión, 2004, p.56)*

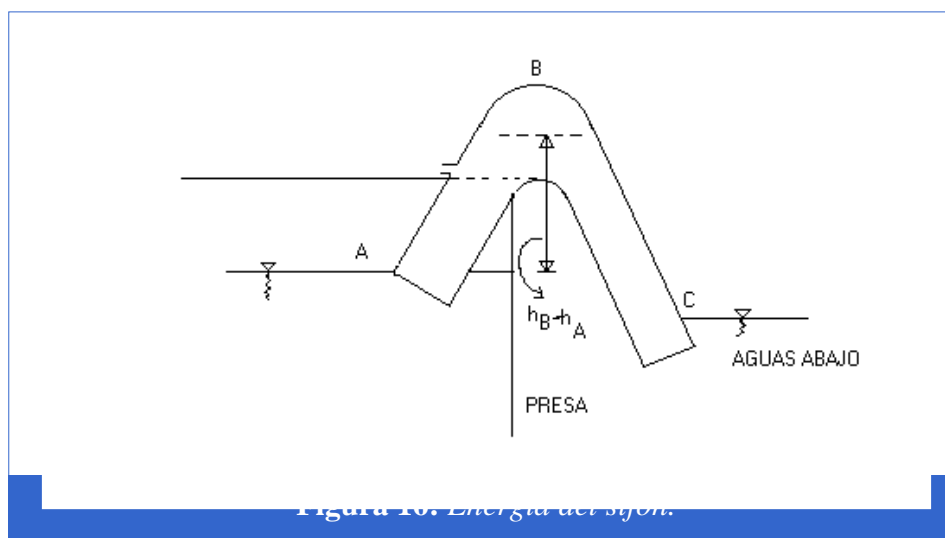
“Una vez cebado, el sifón funciona como una instalación por gravedad. Sin embargo, para su puesta en marcha necesita un grupo motobomba, como es el caso de las tuberías de impulsión, o mediante una bomba de vacío” (Carrión, 2004, p.56). “La fuerza de arrastre que tiene el chorro líquido del sifón es capaz de transportar partículas. Esta particular característica es aprovechada para extraer los sedimentos de los reservorios colmatados, lo cual es tema del presente trabajo” (Carrión, 2004, p.56).

### **Ecuación básica del flujo permanente aplicada a sifón**

**ROCHA, A (1990):** “Caso general; El efecto del sifón puede explicarse a partir de Bernoulli entre dos puntos A y B (ver figura 16)” (Carrión, 2004, p.57).

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + h_A + \frac{V_B^2}{2g} + h_B + \sum \text{pérdidas} = 0$$

**Ecuación 1:** *Ecuación de la energía del sifón.*



FUENTE: Carrión Melgarejo Rubén, Tesis: Análisis de los efectos del Fenómeno del Niño en el año 1998 en la presa Los Ejidos. Piura, 2004.

“Considerando que en la parte A,  $V_A = 0$  y que la presión mínima que puede existir en el punto B es la presión de vapor  $P_v$ , la elevación máxima del punto B es” (Carrión, 2004, p.57):

$$h_B - h_A = \frac{P_A}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - \frac{V_B^2}{2g} - \sum \text{pérdidas}$$

**Ecuación 2: Ecuación de la energía.**

“El flujo en estas condiciones máximas será inestable” (Carrión, 2004, p.58). “En el caso de uso de sifón, con el nivel de agua A estático o siempre por debajo del punto B, es necesario usar una bomba de aire o eyector” (Carrión, 2004, p.58).

*La bomba de aire o eyector será utilizada para cebar la tubería, ya que el flujo no se establecerá hasta que el sifón esté lleno de agua, y tendrá que ser operada ocasionalmente para retirar el aire acumulado y el vapor de agua . (Carrión, 2004, p.58)*

“Deben usarse valores de  $h_B - h_A$  inferiores a los cálculos mediante la ecuación anterior” (Carrión, 2004, p.58).

“En la práctica, los sifones no trabajan satisfactoriamente cuando la presión en el punto más alto es cercana a la presión de vapor” (Carrión, 2004, p.58).

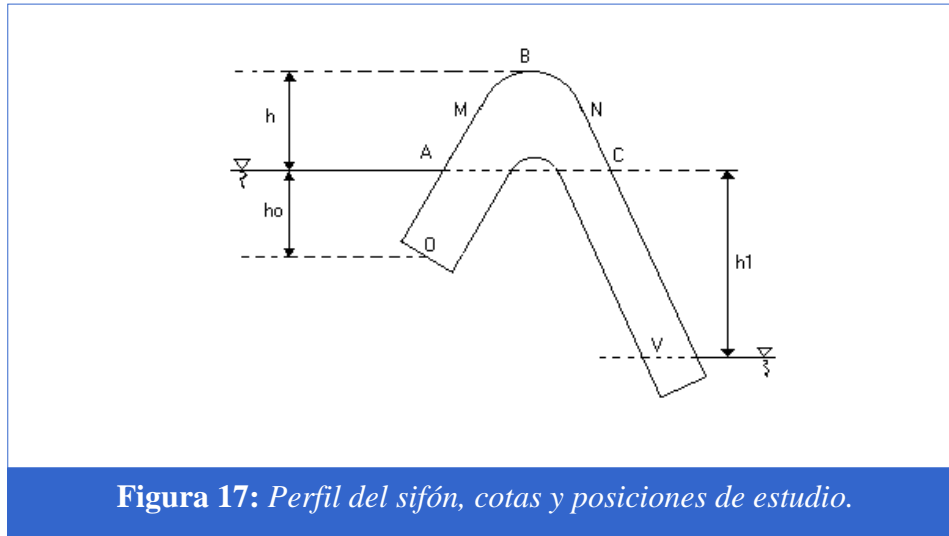
*El aire y otros gases disueltos en el líquido dejan de estarlo a presiones bajas y se reúnen en el punto más alto del conducto, reduciendo así la sección de la columna de líquido en el lado derecho, la cual genera la presión baja del punto más alto del sifón . (Carrión, 2004, p.58)*

“Los sifones de gran tamaño que trabajan continuamente llegan a tener una bomba de vacío que elimina los gases en la parte superior” (Carrión, 2004, p.58).

“La presión más baja puede presentarse no en la parte más alta, sino en alguna sección aguas debajo de aquella. Esto se debe a que las pérdidas menores y por fricción pueden reducir la presión más que la disminución de nivel” (Carrión, 2004, p.58).

### **Diagrama de presiones**

**MAYOL, J (1982):** “En la figura 17 se indica el perfil geométrico de un sifón, siendo  $h_0$  la profundidad de penetración de la tubería bajo el nivel de agua” (Carrión, 2004, p.58); “ $h$ , la altura del sifón; y  $h_1$ , la altura de posición de la válvula de compuerta necesaria para cebar el sifón” (Carrión, 2004, p.58).

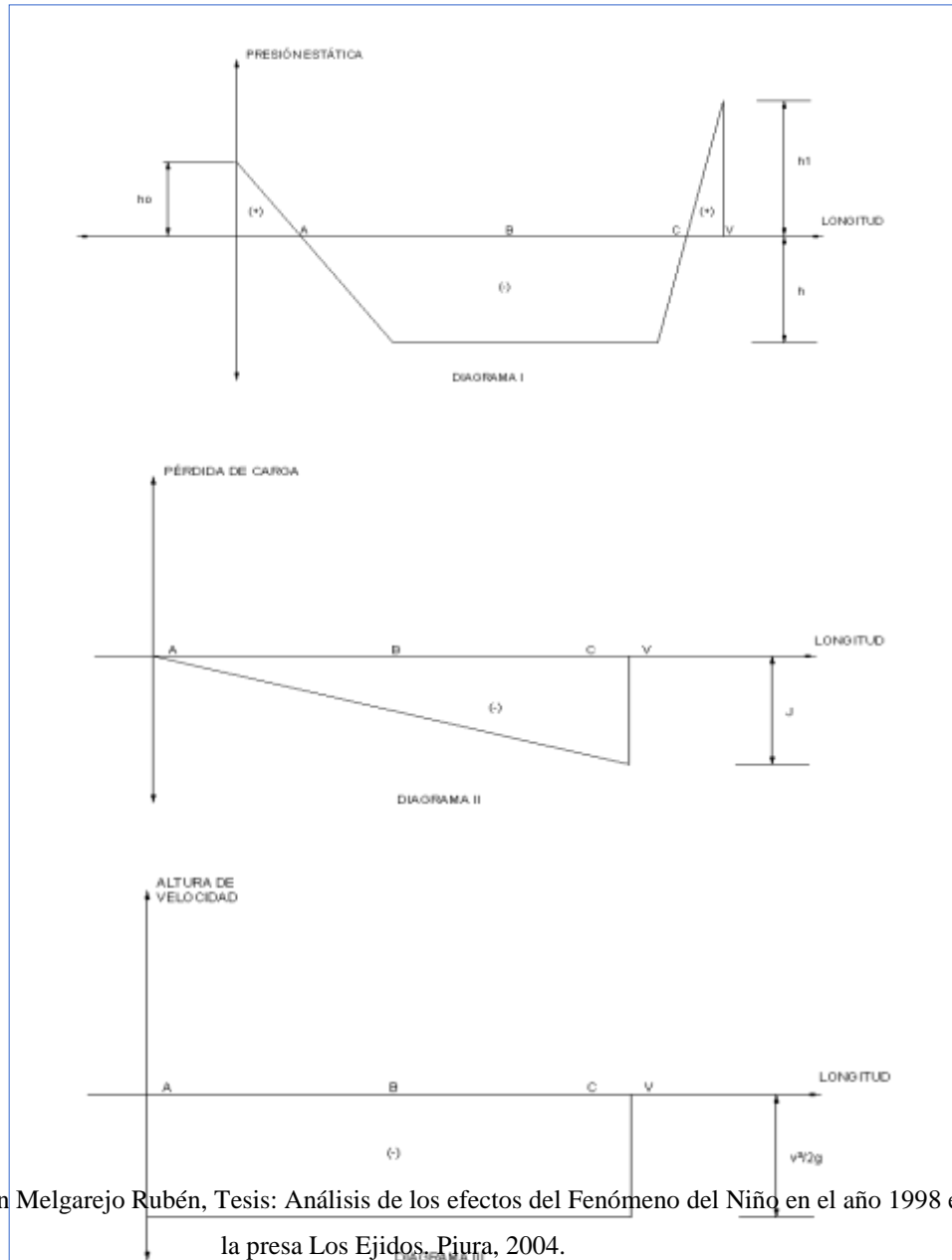


**Figura 17:** Perfil del sifón, cotas y posiciones de estudio.

FUENTE: Carrión Melgarejo Rubén, Tesis: Análisis de los efectos del Fenómeno del Niño en el año 1998 en la presa Los Ejidos. Piura, 2004.

*Una vez cebado el sifón con una bomba de vacío (existe la condición inicial de que la altura del sifón  $h$  debe ser inferior a la capacidad de aspiración de la bomba), se abre la válvula de compuertas y el agua circula por la tubería . (Carrión, 2004, p.59)*

“Entonces se presentan los diagramas de presiones de la figura 18, los cuales tienen el eje de abscisas en común que representa la longitud real de la tubería” (Carrión, 2004, p.59).



FUENTE: Carrión Melgarejo Rubén, Tesis: Análisis de los efectos del Fenómeno del Niño en el año 1998 en la presa Los Ejidos, Piura, 2004.

**Figura 18:** Evaluación de la presión estática, pérdida de carga y altura de velocidad en el recorrido del sifón.

configuración a a  
 posición O es positiva y vale  $h_0$  metros de columna de agua (si se tratase de otro líquido, las unidades serían metros de columna de líquido)” (Carrión, 2004, p.60). “Decrece hasta 0 en la posición A, donde empiezan las depresiones que se mantienen hasta C y que son máximas en el tramo horizontal B” (Carrión, 2004, p.60). “La presión a partir de C es positiva y aumenta hasta V. Las presiones de la ilustración 18. Diagrama I, corresponden a las estáticas que tiene el sifón después del cebado” (Carrión, 2004, p.60).

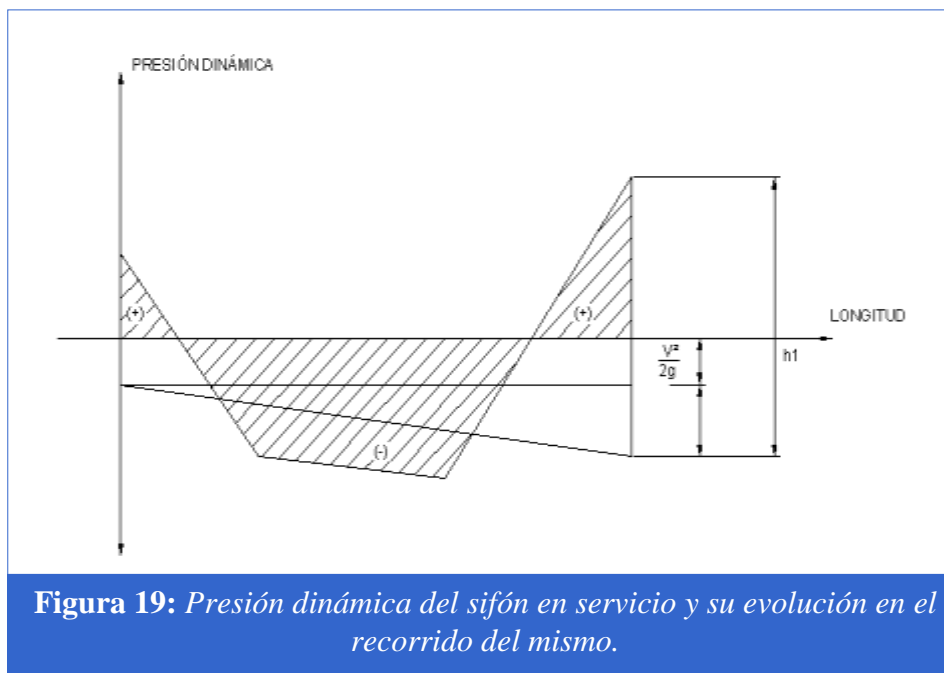
“Sin embargo, al circular el agua también intervienen la pérdida de carga (figura 18 diagrama II) y la pérdida de altura geométrica, necesaria para que el agua adquiriera la velocidad  $V$  (conversión de altura geométrica en altura de velocidad)” (Carrión, 2004, p.60). “Esto tiene lugar en la posición O. La pérdida de carga reduce la presión estática, y por este motivo se orienta en sentido negativo” (Carrión, 2004, p.60).

La altura necesaria para que el agua adquiriera la velocidad  $V$  (m de columna de agua) es:  $\frac{V^2}{2g}$ .

“Esta altura está representada en la figura 18 Diagrama III, y también actúa en sentido negativo” (Carrión, 2004, p.60). “Las tres alturas citadas son: altura geométrica, que origina las presiones variables indicadas en el diagrama I; pérdida de carga y altura de velocidad, que producen disminución de altura geométrica o reducción de la presión variable debido a ésta” (Carrión, 2004, p.60).

“En la figura 18 se indica la composición de las tres alturas: para una mayor claridad del dibujo se suman algebraicamente en orden inverso al expuesto” (Carrión, 2004, p.60). “La resultante es la presión dinámica que existe en el sifón, una vez que circula el agua” (Carrión, 2004, p.60).

“La posición más desfavorable corresponde al extremo N del tramo horizontal, en el cual la depresión es máxima” (Carrión, 2004, p.60) (Ver figura 18).



FUENTE: Carrión Melgarejo Rubén, Tesis: Análisis de los efectos del Fenómeno del Niño en el año 1998 en la presa Los Ejidos. Piura, 2004.

### Presiones que definen la capacidad – valores límites

“La presión atmosférica a nivel del mar es 1.033 Kg/cm<sup>2</sup> a 0°C. Ésta es equivalente al peso de una columna de agua de 10.33 metros, que es la carga máxima que puede tomarse para producir escurrimiento en un sifón” (Carrión, 2004, p.61).

“La presión atmosférica baja de un metro de columna de agua por cada 1000 metros de altitud, aproximadamente” (Carrión, 2004, p.61). “Sin embargo, el funcionamiento de un sifón se tendrá en condiciones normales hasta que la carga quede por debajo de unos 6.1 a 6.7 metros (de 20 a 22 pies)” (Carrión, 2004, p.61). “Dicha carga se mide del nivel de agua superior al centro de la boca de salida, la carga es igual a la diferencia de niveles de agua, superior e inferior” (Carrión, 2004, p.61).

“El sifón no debe funcionar con presiones absolutas en la garganta menores de 3 m., aproximadamente, de columna de agua” (Carrión, 2004, p.62). “De otra manera, su funcionamiento puede llegar a ser inestable. Si

el sifón se mantuviera constante, una temperatura relativamente alta podría desarrollar el fenómeno de la cavitación dentro de éste” (Carrión, 2004, p.62).

### **Definición de la cavitación**

**MAYOL, J (1982):** “La temperatura de ebullición de los líquidos – evaporación en toda su masa – depende de la presión a la que están sujetos” (Carrión, 2004, p.62). “Por este motivo, existe una presión perfectamente definida para una temperatura dada, bajo la cual un líquido se evapora” (Carrión, 2004, p.62). “Si esto ocurre en un punto cualquiera de la región en que se desplaza un líquido, inmediatamente empiezan a formarse masas de vapor y, en lugar de tener un fluido homogéneo, se tendrá un líquido con burbujas de vapor en suspensión” (Carrión, 2004, p.62). “Este fenómeno recibe el nombre de cavitación” (Carrión, 2004, p.62).

“Si posteriormente la presión aumenta, los espacios vacíos se llenan del líquido que proviene de la condensación del vapor” (Carrión, 2004, p.62). “Este fenómeno, que recompone en forma instantánea la presión local, significa un género de *martilleo* intenso que ocasiona la erosión de las paredes sólidas” (Carrión, 2004, p.62). “Como consecuencia, debe evitarse la cavitación a toda costa en las construcciones y máquinas hidráulicas” (Carrión, 2004, p.62). “Aunque las cavidades formadas en el agua por la ebullición se presentan cuando la presión local es igual a la presión de vapor de agua, existe una diferencia técnica entre la ebullición y la cavitación” (Carrión, 2004, p.62):

**“Ebullición:** Es el proceso que consiste en el paso del estado líquido al estado de vapor por el cambio de temperatura, cuando se tiene la presión local constante” (Carrión, 2004, p.62).

**“Cavitación:** Es el proceso que consiste en el paso del estado líquido al estado gaseoso por el cambio de la presión local, y la reconstrucción consecuente del estado líquido por modificación de la presión o arrastre de las burbujas” (Carrión, 2004, p.62).



“En las estructuras hidráulicas, el agua contiene burbujas de aire y varios tipos de impurezas de diferentes tamaños” (Carrión, 2004, p.62). “Si la presión del flujo del agua es disminuida a través de un incremento en la velocidad del flujo, se alcanza una condición crítica justo cuando empieza la cavitación. Esta condición crítica es llamada cavitación incipiente” (Carrión, 2004, p.62).

“De igual forma, si la cavitación existe y la velocidad del flujo disminuye, o la presión aumenta, se alcanza una condición crítica cuando la cavitación va a desaparecer. Esta cavitación es llamada cavitación desinente” (Carrión, 2004, p.62). “Estos dos tipos de cavitación no suelen ocurrir en las mismas condiciones de flujo. La diferencia es especialmente importante en investigaciones de laboratorio, pero puede ser ignorada para todo propósito práctico en estructuras hidráulicas” (Carrión, 2004, p.62).

### **Puntos donde usualmente se produce cavitación**

“De acuerdo con la ecuación de Bernoulli, la presión en un punto cualquiera de un líquido en movimiento está dada por” (Carrión, 2004, p.62):

$$\frac{P}{\gamma} = \text{constante} - Z - \frac{V^2}{2g} - jdl$$

**Ecuación 3:** *Presión en un punto cualquiera de un líquido en movimiento.*

$p/\gamma$  : presión absoluta.

$z$  : altura en la dirección de la gravedad desde una cota de referencia.

$V$  : velocidad media.

$g$  : aceleración gravitatoria.

$jdl$  : disipación por fricción a través del recorrido del fluido.

“Según esto, la presión es tanto más pequeña y, por lo mismo, mayor es la posibilidad de que se produzca la cavitación cuando” (Carrión, 2004, p.63):

- a) “La carga de posición z es grande” (Carrión, 2004, p.63).
- b) “La velocidad u es grande” (Carrión, 2004, p.63).
- c) “Las pérdidas por fricción, a partir del punto considerado como origen, son elevadas” (Carrión, 2004, p.63).

### **Valor de la presión media que debe adoptarse para evitar la cavitación**

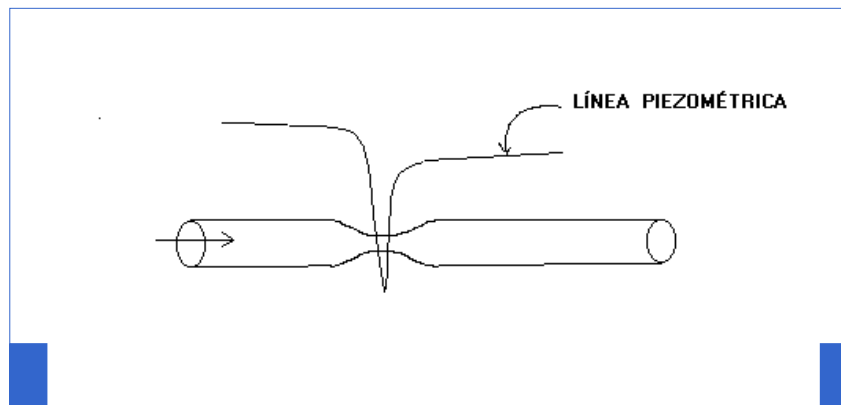
*Debido a que la velocidad puede variar en los puntos de una misma sección transversal de un tubo de corriente, las presiones locales también pueden variar mucho de un punto a otro, pudiendo entonces producirse la cavitación en algunos puntos de la sección considerada . (Carrión, 2004, p.63)*

*Por otra parte, puesto que las ecuaciones clásicas de la hidráulica industrial, especialmente la ecuación de Bernoulli aplicado al tubo de corriente, únicamente dan los valores medios de la presión en la sección considerada, conviene ser prudente en la estimación de tales valores medios para ver si hay o no peligro de cavitación . (Carrión, 2004, p.63)*

“En general, para el agua fría se conviene que la presión (absoluta) nunca sea menor de la correspondiente a una columna de agua de 4 a 5 metros de altura” (Carrión, 2004, p.63). “Con los líquidos calientes aumenta el peligro de cavitación y el valor mínimo de la presión admisible deberá ser más grande” (Carrión, 2004, p.63).

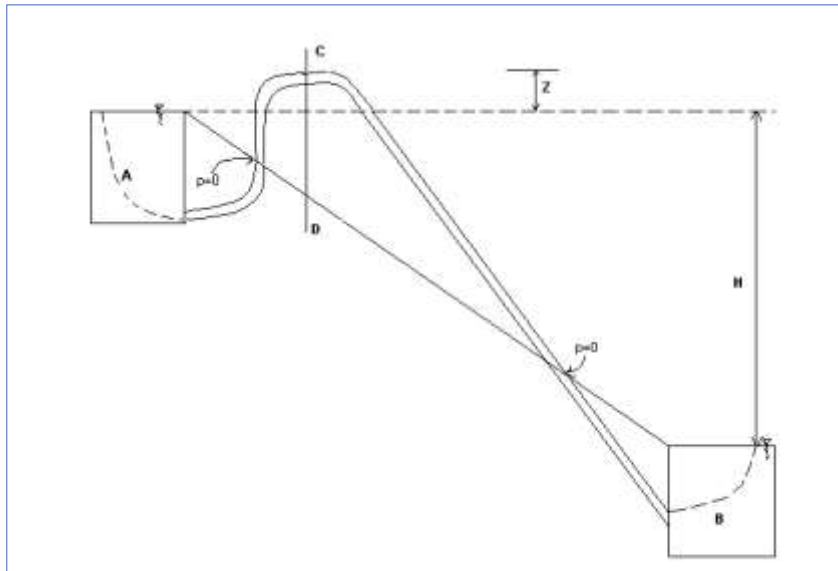
## A) Cavitación en el sifón

**CHARLTON, F (1995)**, “Siempre que la tubería queda por encima de la línea de gradiente (línea piezométrica) hay presión negativa” (Carrión, 2004, p.63). “En la figura 20 se observa un estrechamiento en la tubería. Se produce aumento de la velocidad y, por consiguiente, debe haber disminución de la presión” (Carrión, 2004, p.63). “Si el estrechamiento es muy grande, como el mostrado en la figura, la línea de gradiente queda por debajo de la tubería y se produce presión negativa” (Carrión, 2004, p.63).



FUENTE: Carrión Melgarejo Rubén, Tesis: Análisis de los efectos del Fenómeno del Niño en el año 1998 en la presa Los Ejidos. Piura, 2004.

“En la figura 21 se observa una tubería que une dos estanques y que, por alguna razón, podría ser de tipo topográfico” (Carrión, 2004, p.64). “Tiene un tramo alto que queda sobre la línea de gradiente. A este sistema hidráulico se le denomina sifón H es la carga” (Carrión, 2004, p.64).



**Figura 21:** *Tubería con presión negativa.*

FUENTE: Carrión Melgarejo Rubén, Tesis: Análisis de los efectos del Fenómeno del Niño en el año 1998 en la presa Los Ejidos. Piura, 2004.

“La línea de gradiente está representada, aproximadamente, por la línea recta que une las superficies libres de los estanques. (En realidad, la línea de gradiente no es recta, pues la tubería no lo es)” (Carrión, 2004, p.65).

“Todo el tramo de la tubería que está sobre la línea de gradiente tiene presión negativa. En los puntos de intersección entre la línea de gradiente y la tubería, la presión es cero” (Carrión, 2004, p.65).

“Debe tenerse presente que hablamos de presiones relativas. Por lo tanto, *presión cero* significa *presión atmosférica* y *presión negativa* significa *presión menor que la atmosférica*” (Carrión, 2004, p.65).

“En el tramo de tubería en el que la presión es menor que la atmosférica, se libera el aire contenido en el agua” (Carrión, 2004, p.65). “Y si la velocidad no es suficientemente grande, el aire queda retenido en la parte superior de la tubería e impide así la normal circulación del agua” (Carrión, 2004, p.65). “Si la presión disminuye mucho, entonces aparece el vapor de agua y el problema se agrava” (Carrión, 2004, p.65). “Por lo tanto, un sifón debe diseñarse

de modo que la presión esté siempre por encima de la correspondiente a la formación de vapor a la temperatura del agua” (Carrión, 2004, p.65).

“Para el cálculo del sifón se aplica la ecuación de la energía A Y C (figura 22) considerando este caso para mayor facilidad de cálculo presiones absolutas, se tiene” (Carrión, 2004, p.65):

$$0+10.33+0 = \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + Z + h_{fac}$$

**Ecuación 4:** *Ecuación de la energía A Y C.*

Siendo:

V : velocidad media en la tubería.

p/γ : altura correspondiente a la presión absoluta

z : sobre elevación del eje de la tubería en su punto más alto, respecto al nivel de la superficie.

H<sub>fac</sub> : pérdidas de carga entre A y C (continuas y locales según el caso).

“El máximo valor de Z depende del valor que se admita para la presión absoluta en C” (Carrión, 2004, p.65). “A fin de evitar la discontinuidad en el escurrimiento por desprendimiento de vapor, esta presión no debe ser inferior a la de vaporización del fluido a la temperatura de operación del sistema” (Carrión, 2004, p.65). “En C, el valor de la velocidad debe ser lo suficientemente alto para arrastrar las burbujas de aire” (Carrión, 2004, p.65).

“Se debe procurar que en el tramo ascendente de la tubería, las pérdidas de carga sean mínimas. Si se tuviera que instalar una válvula de control, debería hacerse en el tramo descendente” (Carrión, 2004, p.65).

“La cavitación en el sifón se da con la formación y desaparición rápida de burbujas (cavidades) de vapor en el seno líquido” (Carrión,

2004, p.65). “Las burbujas se forman en las zonas de reducción de presión y, al ser conducidas a zonas de mayor presión, explotan, provocando un ruido característico” (Carrión, 2004, p.65).

“En un sistema hidráulico debe evitarse la aparición de cavitación por las siguientes razones” (Carrión, 2004, p.65):

a) La cavitación significa una discontinuidad en el escurrimiento y, por lo tanto, una reducción de la eficiencia de conducción” (Carrión, 2004, p.65).

b) “La cavitación significa inestabilidad en el escurrimiento, y puede dar lugar a ruidos y vibraciones” (Carrión, 2004, p.66).

c) “La ruptura de las burbujas produce tensiones muy fuertes que pueden conducir a la falla estructural de la tubería” (Carrión, 2004, p.66).

“La posibilidad de cavitación se describe por medio de un parámetro adimensional denominado parámetro de cavitación” (Carrión, 2004, p.66):

$$\frac{P - P_v}{\rho \left( \frac{V^2}{2} \right)}$$

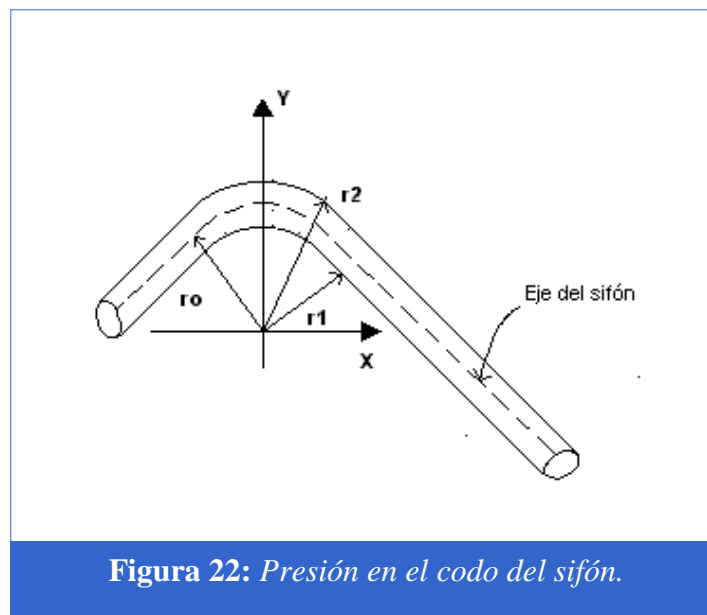
**Ecuación 5:** *Parámetro de cavitación.*

“Donde p es la presión absoluta en el punto considerado; p<sub>v</sub> es la presión absoluta de vaporización del líquido a la temperatura existente; ρ es la densidad del líquido y V es la velocidad media” (Carrión, 2004, p.66).

“Se observa que el parámetro de cavitación es una forma del número de Euler” (Carrión, 2004, p.66). “La presión absoluta de vaporización varía, como es sabido, con la temperatura. Hay curvas y gráficos que expresan la presión absoluta de vaporización en función de la temperatura” (Carrión, 2004, p.66).

“Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el agua contiene impurezas, sales, que obligan a aceptar valores prácticos diferentes” (Carrión, 2004, p.66). “Para temperaturas normales se acepta que la presión absoluta de vaporización del agua sea del orden de 0.2 a 0.3 kg/cm<sup>2</sup>” (Carrión, 2004, p.66).

### B) Presión en el codo del sifón



**Figura 22:** *Presión en el codo del sifón.*

FUENTE: Carrión Melgarejo Rubén, Tesis: Análisis de los efectos del Fenómeno del Niño en el año 1998 en la presa Los Ejidos. Piura, 2004.

“La presión en el codo del sifón se calcula para la verificación del vacío en la sección. El vacío no puede ser mayor de su valor límite (al pasar este valor se produce cavitación, cortes de continuidad del flujo, etc.)” (Carrión, 2004, p.67). “La presión en cualquier punto del sifón se puede determinar según la siguiente fórmula” (Carrión, 2004, p.67):

$$\left(\frac{P}{\gamma}\right)_i = \left(Z + \frac{P}{\gamma}\right)_{med} - Z_i + \frac{P^*}{\gamma}$$

**Ecuación 6:** *La presión en cualquier punto del sifón.*

Donde:

$\left(Z + \frac{P}{\gamma}\right)_{med}$  es el nivel piezométrico en la sección dada, sin tener en cuenta la influencia de curvatura de los chorros (líneas de corriente dentro del sifón).

$Z_i$  es la posición del punto a estudiar dentro del flujo del sifón.

$\frac{P^*}{\gamma}$  es la posición cinemática, como consecuencia de la curvatura de las líneas de corriente.

Los valores de  $\left(Z + \frac{P}{\gamma}\right)_{med}$  se pueden determinar según la ecuación de Bernoulli.

“El coeficiente de energía cinemática en esta ecuación  $\alpha$ , se puede determinar según recomendaciones de Sliskiy, o sea” (Carrión, 2004, p.67):

$$\alpha = \frac{\left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2}\right)(r_2 - r_1)}{2 \left(\ln \frac{r_2}{r_1}\right)^3}$$

**Ecuación 7:** *El coeficiente de energía cinemática.*

Donde:

$r_1$  y  $r_2$  son los radios de curvatura del fondo y del techo del sifón.

La presión cinemática se determina:

$$\frac{P^*}{\gamma} = \frac{V_0^2}{2g} \left(1 - \left(\frac{r_0}{r_0 + y}\right)^2\right)$$

**Ecuación 8:** *La presión cinemática.*



Donde:

$r_0$  es el radio de curvatura del eje del sifón.

$y$  es la distancia del eje del sifón hasta el punto de estudio

(observación)

$V_0$  es la velocidad en el eje del sifón.”

$$V_0 = \frac{q}{\delta \cdot r_0 \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

**Ecuación 9:** *Velocidad en el eje del sifón.*

Donde:

$\delta$  es el coeficiente empírico (2.00 a 3.50).

“La cavitación se produce cuando la presión en el punto de estudio está debajo de la presión del vapor saturado  $[P/\gamma]_{\text{saturado}}$ ; la presión del vacío crítico que corresponde a la presión de vapor saturado se puede determinar según la fórmula” (Carrión, 2004, p.68):

$$\left(\frac{P_{\text{vacío}}}{\gamma}\right)_{\text{crítico}} = 9.94 - \frac{N}{900} - \left(\frac{P}{\gamma}\right)_{\text{saturado}}$$

**Ecuación 10:** *Presión de vapor saturado.*

Donde:

$N$  es el nivel de aguas

La cavitación no se producirá cuando:

$$\frac{P_{\text{vacío}}}{\gamma} < \left(\frac{P_{\text{vacío}}}{\gamma}\right)_{\text{crítico}}$$

### **3. Ventajas y desventajas del sistema de hidrosucción de sedimentos**

**Ventajas:** “Los sistemas convencionales de dragado hidráulico emplean bombas para absorber y eliminar el sedimento de un reservorio” (Carrión, 2004, p.71); “a diferencia de estos los sistemas de hidrosucción extrae el sedimento depositado en un reservorio usando la energía representada por la diferencia entre los niveles de aguas arriba y aguas debajo de la presa” (Carrión, 2004, p.71). “Entre las principales ventajas del sistema se encuentran” (Carrión, 2004, p.71):

1. “Requiere de mínimos recursos y poca inversión para su instalación” (Carrión, 2004, p.71).

2. “No requiere energía externa para el transporte del sedimento” (Carrión, 2004, p.71).

3. “No requiere la presencia de avenidas (funciona con bajos caudales)” (Carrión, 2004, p.71).

4. “Por ser un sistema independiente la operación de la presa no se ve afectada” (Carrión, 2004, p.71).

5. “La tubería puede moverse libremente para extraer depósitos de sedimento” (Carrión, 2004, p.71).

6. “La extracción es continua” (Carrión, 2004, p.71).

7. “Permite que el río aguas abajo conserve sus condiciones de equilibrio (de erosión – sedimentación) debido a que el agua contendrá la misma cantidad de sedimentos que antes de construir la presa” (Carrión, 2004, p.71).

8. “Es fácil y seguro de operar. No necesita de operadores calificados” (Carrión, 2004, p.71).

9. “El sistema puede operar bajo diferentes cargas piezométricas y extraer diferentes tipos de sedimentos sin modificación” (Carrión, 2004, p.71).

10. “El mantenimiento y reposición de los equipos es simple, económico y de poca frecuencia” (Carrión, 2004, p.71).

**Desventajas:** “Entre las principales desventajas del sistema se encuentran” (Carrión, 2004, p.71):

1. “La obstrucción del sistema. En caso de producirse debe introducirse agua limpia por medio de la bomba para remover los depósitos” (Carrión, 2004, p.71).

2. “La tubería puede ser susceptible a daños en el momento que se evacuen avenidas por las puertas del aliviadero. Se debe determinar para ello la posición de la tubería más conveniente” (Carrión, 2004, p.71).

3. “Cuando la tubería es excesivamente larga existen grandes pérdidas por fricción” (Carrión, 2004, p.71).

4. “Cuando existe ingreso de aire al sifón, es decir las uniones de los tubos no son herméticas, disminuye notoriamente la eficiencia del sistema” (Carrión, 2004, p.71).

5. “El sistema no está diseñado para extraer partículas de gran tamaño” (Carrión, 2004, p.71).

6. “La carga hidráulica máxima para evitar cavitación en el sifón es de 7 metros” (Carrión, 2004, p.71).

7. “Necesidad de reemplazar el sistema cada cierto tiempo, de acuerdo al material utilizado” (Carrión, 2004, p.72).

#### 4. Requisitos para usar el sistema de hidrosucción de sedimentos

“Los requisitos para usar el sistema son los siguientes” (Carrión, 2004, p.72):

1) “Tener un embalse colmatado o en proceso de colmatación. La granulometría de los sólidos a extraer debe corresponder al rango de las arenas, limos y arcillas” (Carrión, 2004, p.72).

2) “Se debe contar con una carga piezométrica, es decir debe existir una diferencia entre los niveles de aguas arriba y aguas abajo del embalse” (Carrión, 2004, p.72).

3) “Debe contarse también con un caudal continuo aunque sea muy bajo; ya que este es necesario para transportar el sedimento por la tubería. Cabe resaltar entonces que el sistema no podrá funcionar después de un desembalse” (Carrión, 2004, p.72).

#### Fórmulas:

“Las fórmulas obtenidas de ajustar resultados de ensayos hechos por varios investigadores se deducen de la expresión siguiente” (Carrión, 2004, p.72):

$$\varphi = \frac{Jm-J}{C_V J} \quad y \quad \psi = \frac{V^2 - Cd}{gD (s-1)}$$

$$\varphi = K\psi^m = \frac{Jm - J}{C_V J}$$

$\Phi$ : Función para dimensionar pérdida de carga.

K: Constante experimental.

$\psi$ : Función para dimensionar variables hidráulicas.

m: Exponente experimental.

Jm: Gradiente pérdida carga para los sedimentos con agua.

J: Gradiente pérdida carga para el agua limpia.

Cv: Concentración de sedimentos por volumen. (Carrión, 2004, p.72)

El parámetro  $\psi$  es definido como:

$$\psi = \frac{(V^2 \sqrt{Cd})}{[gD (S - 1)]}$$

Donde:

v: Velocidad del flujo ( m/s).

D: Diámetro de la tubería (m).

S: Gravedad específica del sedimento (kg/ m).

Cd: Coeficiente de arrastre de la partícula. (Carrión, 2004, p.72)

$$J = \frac{f_v^2}{(2gD)}$$

Donde:

f: factor de fricción de Darcy – Weisbach.

$$J = \frac{f_v^2}{(2gD)} + \frac{2fQS_v^{1+2m}}{\pi gD^3}$$

“La ecuación puede ser usada para estimar el gradiente de pérdida de carga  $J_m$  en tuberías que transportan agua con sedimento” (Carrión, 2004, p.73).

$$Q_{s \max} = \frac{J_m^{\frac{1-2m}{2}}}{\frac{f \left[ \frac{\pi D^2}{2} (1 + 2m) \right]^{\frac{2}{2m-1}}}{2gD} + \frac{2f}{\pi gD^3} - \frac{\pi D^{\frac{1-2m}{2m-1}}}{2(1 + 2m)}}$$

Donde:

Qs max: Caudal de transporte de sedimentos máximo sobre el gradiente de pérdida de carga disponible Jm

### **Pasos para diseñar el sistema de hidrosucción**

Dados por **Efkharzadeh (1987)**.

1. “Determinar aproximadamente el desnivel aguas arriba y aguas abajo, H; la longitud, L; el material y el diámetro tentativo de la tubería DTUB” (Carrión, 2004, p.74).

2. “Tomar muestras de los sedimentos del reservorio para determinar” (Carrión, 2004, p.74):

- “Gravedad específica, S” (Carrión, 2004, p.74).
- “Granulometría” (Carrión, 2004, p.74).
- “Coeficiente de dragado para cada fracción de tamaño” (Carrión, 2004, p.74).
- “Coeficiente de dragado compuesto Cd usando la ecuación” (Carrión, 2004, p.74):

$$Cd = p1.Cd1 + p2.Cd2 + ..... + pn.Cdn$$

Donde:

“p1, p2,....., pn: Fracciones decimales de tamaño para la distribución de partículas” (Carrión, 2004, p.74).

“Cd1, Cd2,....., Cdn: Coeficientes de arrastre de los diámetros de partículas usadas para representar al tamaño del sedimento” (Carrión, 2004, p.74).

3. “Calcular el parámetro sin flujo alfa usando la ecuación” (Carrión, 2004, p.74):

$$alfa = \frac{K C d^{0.5 mm}}{[g \cdot D \cdot (s - 1)]^m}$$

Donde:

“g: Constante gravitacional (m/s<sup>2</sup>)” (Carrión, 2004, p.74).

“K: Constante experimental” (Carrión, 2004, p.74).

“Según Durand y Condolios: K=81 y m=-1.5” (Carrión, 2004, p.74).

“Zandi y Govados (1967) analizaron todos los datos disponibles para la concentración por volumen (Cv) y determinaron experimentalmente dos rectas adecuadas para interpolar sus datos, en los cuales los valores K y m son” (Carrión, 2004, p.74):

Si	$\psi > 10$	K=280	y	m=-1.93
Si	$\psi < 10$	K=6.3	y	m=-0.354

No tiene ningún significado hallar los valores de k y m para  $\psi = 10$

4. “Asumir la velocidad de la tubería, v; y calcular la suma de los gradientes de pérdida de carga Jm, incluyendo pérdidas menores usando” (Carrión, 2004, p.74):

$$Jm = \frac{\left( h - \frac{\sum K_i V^2}{2g} \right)}{L}$$

5. “Calcular el flujo de mezcla con el número de Reynolds” (Carrión, 2004, p.75).

$$Re = \frac{Vm \cdot D}{\nu}$$

Donde:

$\nu$  : Valor apropiado de viscosidad cinemática.

6. “Calcular la razón de transporte ( $Q_s$ ) con la ecuación  $Q_{s \max}$  usando” (Carrión, 2004, p.75):

- “Coeficiente de fricción de Darcy Weisbach,  $f$ .” (Carrión, 2004, p.75).
- “Gradiente pérdida de carga,  $J_m$ .” (Carrión, 2004, p.75).
- “Diámetro de la tubería,  $D$ ” (Carrión, 2004, p.75).
- “El parámetro sin flujo,  $\alpha$ ” (Carrión, 2004, p.75).
- “el valor del exponente,  $m$ ” (Carrión, 2004, p.75).
- “El valor de la constante  $K$ ” (Carrión, 2004, p.75).

7. “Calcular el valor del ensayo de la velocidad de flujo óptimo de la mezcla ( $V_m$ ) usando la siguiente ecuación” (Carrión, 2004, p.75):

$$V_m = \left[ \frac{\pi \cdot D^2}{2 \alpha Q_s} \cdot \frac{1}{(1 + 2m)} \right]^{\frac{m+1}{2}}$$

Donde:

$V_m$ : Velocidad del flujo cuando la razón de transporte de sólidos en la tubería es máxima y la carga hidráulica es fija.

8. “Calcular el coeficiente de fricción de la mezcla ( $f_m$ ) usando la fórmula explícita de Swance y Jain (Streeter and Wylie 1985). Previamente se debe determinar el coeficiente de rugosidad,  $\epsilon$ ; del material de la tubería” (Carrión, 2004, p.75).

$$f_m = \frac{1.325}{\left[ \ln \left( \frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{R^{0.9}} \right) \right]^2}$$

9. “Usar  $V_m$ , recalculando  $J_m$  y  $f_m$ , comparar el valor de  $f_m$  calculado en el paso 08” (Carrión, 2004, p.75); “luego repetir los pasos 3 al 8



hasta que la diferencia entre el valor calculado de  $f_m$  con el paso anterior tenga una tolerancia aceptable” (Carrión, 2004, p.75). “Esto usualmente requiere 2 ó 3 iteraciones” (Carrión, 2004, p.75).

10. “Usar el último valor de la razón de flujo de sedimentos ( $Q_s$ ) y aplicar el factor de conversión apropiado al estimar la suma de sedimentos removidos en distintas unidades” (Carrión, 2004, p.75).

#### 2.4. Definición de la Terminología

- **Aterramiento:** sedimento depositado.
- **Almacenamiento activo:** es el volumen del embalse por encima de la entrada.
- **Almacenamiento muerto:** es el volumen del embalse por debajo de la salida.
- **“Velocidad crítica de arrastre:** se denomina así, a la velocidad de agua a partir de la cual se inicia el movimiento de las partículas de un cierto diámetro” (Carrión, 2004, p.10).
- **“Gasto líquido crítico:** es el caudal que es capaz de poner en movimiento a las partículas del fondo y mantener una situación de equilibrio” (Carrión, 2004, p.10).
- **“Volumen Útil:** Es el volumen total menos el volumen inactivo y el volumen muerto” (Carrión, 2004, p.27).
- **“Volumen Inactivo:** Es el volumen del reservorio medido desde el punto más bajo del conducto de descarga y el nivel mínimo de operación” (Carrión, 2004, p.27).
- **“Volumen perdido por cota de descarga:** Es el volumen ubicado por debajo del punto más bajo de descarga que exista” (Carrión, 2004, p.27).
- **“Volumen Control de Avenidas:** Es la parte del volumen útil usada específicamente para ese fin” (Carrión, 2004, p.27).
- **“Volumen de sobre elevación de crecidas:** Es el volumen comprendido entre el nivel normal de operación y el nivel máximo de crecidas” (Carrión, 2004, p.27).

# **CAPITULO III**

## **MARCO METODOLÓGICO**

### 3.1. Tipo y Diseño de Investigación

#### 3.1.1. Tipo de investigación

##### **Aplicada**

Se aplicó alternativas de solución al problema de sedimentación de la Represa Gallito Ciego.

##### **Cuantitativo**

Recolecta y analiza la información obtenida de la Represa Gallito Ciego, para conocer su situación actual.

#### 3.1.2. Diseño de la investigación

PROBLEMA	SOLUCIÓN	REALIDAD
Sedimentación en la Represa Gallito Ciego	Aplicar técnicas de solución directa para disminuir la colmatación en la represa Gallito Ciego	Seleccionar la mejor alternativa de solución para disminuir la colmatación de la Represa Gallito Ciego.

### 3.2. Población y muestra

La población y la muestra fueron el embalse de la Represa Gallito Ciego.

### 3.3. Hipótesis

La solución al problema de sedimentación de la Represa Gallito Ciego para disminuir la colmatación del embalse será a través del sistema de hidrosucción.

### 3.4. Variables

**Variable Independiente:** Represa Gallito Ciego

**Variable Dependiente:** Sistema de Hidrosucción

### 3.5. Operacionalización

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	
				RECOJO DE DATOS	DE MEDICION
Variable Independiente: Represa de Gallito Ciego	Volumen Muerto		Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	mmc
	Volumen Útil		Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	mmc
	Volumen de almacenamiento		Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	mmc
Variable Dependiente: Sedimentación de la Represa Gallito Ciego	Caudal máximo	Precipitación	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	m3/s
		Periodo de retorno	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	mm
	Transporte de sedimentos	Granulometría	Observación y Análisis de documentos	Guía de observación	mm
	Cuenca del río Jequetepeque	Área de la cuenca	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	m2
		Longitud	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	m
		Perímetro	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	m
		Ancho.	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	m
		Factores de forma de Horton	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	adimens.
		Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	adimens.
		Pendiente promedio de la cuenca	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	m
		Curva hipsométrica	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	adimens.
		Histograma de frecuencias altimétricas	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	adimens.
		Altura promedio del relieve	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	m
		Elevación promedio del relieve	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	m
Perfil altimétrico del cauce principal y su pendiente promedio	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	m		

### 3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.6.1. Métodos de investigación

**Método histórico:** Está vinculado a los acontecimientos históricos de como se ha ido colmatando la represa con el paso de los años desde el año de su inauguración, aportando información valiosa que pasa a su vez por diferentes etapas tanto normales (lo que sucede periódicamente sin variaciones significativas de variables), como anormales que contemplan fenómenos atípicos, como el FEN (fenómeno del niño).

**Método deductivo:** Mediante este método, podemos analizar el comportamiento de las variables extremas, tanto en época de abundancia de caudal como de estío o sequía, esta información nos dará información importante porque nos marcará los límites sobre los cuales podremos trabajar las variables en el transcurso de esta tesis.

**Método lógico inductivo:** Partimos de casos particulares en cada componente del proceso de colmatación, como son los ríos afluentes, los deslizamientos de los cerros colindantes, los aumentos o disminución de los caudales, la acumulación de lodo, etc. Estas variables nos serán de mucha ayuda para confirmar la hipótesis o variarla en función de los resultados producto este método.

**Método de Síntesis:** Porque una vez reunida y analizada la información aplicando los métodos anteriores, se analizan los efectos que ocasionarían las soluciones planteadas permitiendo llegar a conclusiones importantes.

#### 3.6.2. Técnicas de recolección

**Análisis de Documentos:** Se obtuvo en cuenta libros, tesis, revistas, información gubernamental (ANA) Administración Nacional del Agua,

(PEJEZA) Proyecto Especial Jequetepeque – Zaña, relacionados al tema que se está investigando.

**Observación:** Esta técnica nos sirvió para recabar datos de campo y laboratorio.

### **3.6.3. Instrumentos de recolección de datos**

- a) Planos oficiales de la Represa Gallito Ciego (ver anexo 12).
- b) Planos oficiales de la Batimetría 2013 (ver anexo 12).
- c) Formatos de los ensayos realizados.
- d) Información técnico económica de empresas especializadas como: SEDICON y AQUA PLAN INGENIEROS S.A.C (ver anexo 10).
- e) Información de organismos estatales como: ANA, PEJEZA, Ministerio de Agricultura.

### **3.6.4. Descripción de los instrumentos utilizados**

#### **Los materiales y equipos**

- a. Equipos para la realización del muestreo (ensayo SPT).  
Equipos de perforación (brocas, barrenos), varillas (tubería para muestreo), muestreador de tubo continuo, equipo hincado (martillo, yunque), equipo accesorio (GPS, wincha, etc).
- b. Equipos y materiales utilizados en los ensayos de laboratorio:  
Ensayo de análisis granulométrico: balanza, tamices de malla cuadrada, horno, recipientes para el manejo y secado de muestras, cepillo y brocha para limpiar las mallas.
- c. Ensayo para determinar la gravedad específica: frasco volumétrico, horno, balanza, pipeta, termómetro graduado, baño de agua, guantes, tamices, agua destilada.
- d. Ensayo para determinar el contenido de humedad: horno, balanza, recipientes para manejo y secado de muestras.

e. Ensayo para determinar el límite líquido e índice de plasticidad: espátula de hoja flexible, recipiente para almacenaje, balanza, horno, tamiz, agua destilada, aparato Casagrande, acanalador, calibrador, vidrio adecuado para determinación de humedad.

### **Formatos**

- a. Formato: ensayo de análisis granulométrico (ver anexo 06)
- b. Formato: ensayo para determinar la gravedad específica (ver anexo 07)
- c. Formato: ensayo para determinar el contenido de humedad (ver anexo 08)
- d. Formato: ensayo para determinar el límite líquido e índice de plasticidad (ver anexo 09)
- e. Formatos para los datos obtenidos como parámetros que intervienen en el cálculo de cada alternativa de solución al problema de sedimentación de la Represa (ver anexo 05).

### **Guía de análisis de documentos**

Se revisaron normas técnicas que nos faciliten, un adecuado desarrollo del cálculo de cada alternativa de solución al problema de sedimentación de la Represa.

### **3.7. Procedimiento para la Recolección de Datos**

### 3.7.1. Diagrama de flujo de procesos



Fuente: Elaboración propia



### **3.7.2. Descripción de procesos**

#### **1) Soluciones directas**

“A través de estas aplicaciones explicaremos el proceder de estas soluciones, así como las experiencias mundiales en el uso de las mismas, y tentaremos a dar un costo aproximado sobre su aplicación a la represa” (Carrión, 2004, p.6). “Estas alternativas de solución no son las únicas, pero nos vamos a concentrar en ellas para este estudio. Las alternativas en cuestión son” (Carrión, 2004, p.6):

1. Dragado
2. Sistema de hidrosucción

“Cabe tomar en cuenta que estos diseños teóricos son sólo planteamientos y los diseños definitivos tendrían que hacerse a través de modelos hidráulicos que podrían ser temas para otras investigaciones” (Carrión, 2004, p.6).

#### **2) Información**

Consistió en la recolección de la información disponible de:

- a. Planos de la represa Gallito Ciego (ver anexo 12)
- b. Batimetría 2013 (ver anexo 01)
- c. Oferta técnico económicas (ver anexo 10)
- d. Organismos estatales: ANA, Ministerio de Agricultura, PEJEZA.

#### **3) Sedimento**

##### **Muestras**

Se recogió muestras del sedimento de la Represa Gallito Ciego realizándose ensayos de campo y de laboratorio; para determinar el diseño del Sistema de Hidrosucción.

## **Métodos de cuantificación**

Se tomó como información, la batimetría 2013 – PEJEZA (ver anexo 01).

### **4) Ensayos de laboratorio (Manual De Ensayos De Materiales EM-2000)**

#### **i. Determinación de granulometría**

##### **Objetivo:**

Se obtuvo la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo. Así también fue posible también su clasificación mediante sistemas como AASHTO o USCS.

##### **Principio:**

Diámetro de las partículas.

##### **Materiales:**

- Tamices.
- Dos balanzas.
- Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en  $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ .
- Un vibrador mecánico.
- Herramientas y accesorios. Bandeja metálica, recipientes plásticos y escobilla.

##### **Procedimiento:**

Se homogenizó cuidadosamente el total de la muestra en estado natural, tratando de evitar romper sus partículas individuales, especialmente si se trata de un material blando, piedra arenosa u otro similar. Se redujo por cuarteo una cantidad de muestra levemente superior a la mínima recomendada según el tamaño máximo de partículas del árido.

Se seca el material ya sea al aire a temperatura ambiente, o bien dentro de un horno a una temperatura inferior a 60° C, hasta conseguir pesadas consecutivas constantes en la muestra cada 30 minutos. Cuando seco, se obtuvo la cantidad mínima recomendada a ensayar según la tabla anterior. Se secó el material ya sea al aire a temperatura ambiente, o bien dentro de un horno a una temperatura inferior a 60° C, hasta conseguir pesadas consecutivas constantes en la muestra cada 30 minutos.

Cuando esté seca, se obtuvo la cantidad mínima recomendada a ensayar según la tabla anterior. Inmediatamente obtenido el tamaño de muestra a ensayar, se separa a través del tamiz 3/8 ASTM (10 mm.). La fracción retenida en este tamiz, se pesa y se lava con el fin de eliminar todo el material fino menor a 0,074 mm.

Para esto, se remoja el suelo en un recipiente con agua hasta que las partículas más finas se suelten, enseguida se lava el suelo colocando como filtro la malla N° 200 ASTM (0,08 mm.), hasta observar que el agua utilizada salga limpia. El material retenido en la malla se deposita en una bandeja y se coloca a horno durante 24 horas.

Cumplido el tiempo de secado y una vez enfriada la muestra, se pesa y por diferencia con respecto a la muestra restante se obtiene el material fino por lavado. A continuación, se deposita el material en la criba superior del juego de tamices, los que deberán encontrarse limpios y ordenados en forma decreciente hasta la criba 3/8. El juego deberá contar de una tapa en la parte superior y una bandeja de residuos en la inferior. Se hace vibrar el conjunto durante 5 a 10 minutos, tiempo después del cual se retira del vibrador y se registra el peso del material retenido en cada tamiz.

Para la fracción de muestra que pasó el tamiz 3/8, el procedimiento es similar, salvo que una vez lavada y seca, se ensaya una muestra representativa de 500 grs. utilizando los tamices comprendidos entre la malla N° 4

y la N° 200 ASTM.

**Normatividad:**

ASTM D-422, AASHTO T88, MTC E 107-2000.

**ii. Determinación gravedad específica**

**Objetivo:**

Se utilizó para determinar el peso específico de los suelos y del relleno mineral (filler) por medio de un picnómetro. Cuando el suelo está compuesto de partículas mayores que el tamiz de 2.38 mm (N° 8), se siguió el método de ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso, MTC E 206.

**Principio:**

Peso volumétrico

**Materiales:**

- Frasco volumétrico (picnómetro), de 100 a 500 cm<sup>3</sup> de capacidad.
- Horno o Estufa
- Balanzas
- Pipeta
- Termómetro graduado
- Baño de agua (baño María)
- Tamices

**Procedimiento:**

Se secó el suelo al horno hasta obtener la condición de peso constante. El horno debe estar a una temperatura de  $105 \pm 5$  °C ( $221 \pm 9$  °F). Se sacó la muestra de la estufa y dejó enfriar a la temperatura del laboratorio; debe protegerse contra una ganancia de humedad hasta que sea pesada.

Se llenó el picnómetro hasta la mitad de su contenido con agua

destilada sin burbujas de aire y déjese reposar la suspensión durante la noche. El aire atrapado se removido calentando la suspensión levemente durante un período mínimo de 10 minutos, rotando ocasionalmente el picnómetro para facilitar la expulsión de aire. El proceso de calentamiento debe adelantarse con mucho cuidado, porque pueden ocurrir pérdidas de material. Las muestras calentadas se dejaron enfriar a la temperatura ambiente.

La extracción de aire se realizó calentando la suspensión, se dejó enfriar el picnómetro y su contenido durante la noche. Se llenó el picnómetro con agua destilada hasta que el fondo del menisco coincida con la marca de calibración en el cuello del picnómetro y, usando un papel absorbente, se removió con cuidado la humedad de la parte interior del picnómetro y su contenido con una aproximación de 0.01 g. Inmediatamente después de la pesada, se agito la suspensión hasta asegurar una temperatura uniforme y se determinó la temperatura de la suspensión con una aproximación de 0.1 °C introduciendo un termómetro hasta la mitad de la profundidad del picnómetro.

Se transfirió con mucho cuidado el contenido del picnómetro a una cápsula de evaporación. Se enjuago el picnómetro con agua destilada, hasta asegurarse que toda la muestra ha sido removida de él. Se introdujo la cápsula de evaporación con la muestra en una estufa a  $105 \pm 5$  °C ( $221 \pm 9$  °F), hasta peso constante. Se sacó la muestra seca del horno, dejándose enfriar a la temperatura del laboratorio y determínese el peso del suelo seco con una aproximación de 0.01g.

**Normatividad:**

ASTM D-854, AASHTO T-100, MTC E 113-2000.

**iii. Determinación del contenido de humedad**

**Objetivo:**

Se determinó el contenido de humedad de una muestra de suelo.

**Principio:**

Cantidad de agua.

**Materiales:**

- Horno de secado
- Balanza
- Herramientas y accesorios. Recipientes de porcelana, guantes, espátula y brocha.

**Procedimiento:**

Se tomó una muestra representativa de suelo, de acuerdo al tamaño máximo de las partículas. A continuación, se colocó la muestra húmeda en un recipiente previamente tarado, para proceder a pesar la muestra húmeda más el recipiente, obteniéndose la muestra en mención.

Luego se colocó el conjunto dentro del horno durante 24 horas, a una temperatura de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}$  C. Transcurrió dicho tiempo, se determinó el peso del recipiente con la muestra seca (Ms).

**Normatividad**

ASTM D-2216, MTC E 108-2000.

**iv. Determinación del límite líquido e índice de plasticidad****Objetivo:**

Se determinó en el laboratorio del límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo. Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8) de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen.

El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado plástico y el estado líquido. El valor calculado deberá aproximarse al centésimo.

**Principio:**

Consistencia

**Materiales:**

- Espátula, de hoja flexible
- Recipiente para Almacenaje
- Balanza
- Horno o Estufa
- Tamiz, de 426  $\mu\text{m}$  (N° 40).
- Agua destilada
- Vidrios de reloj, o recipientes adecuados para determinación de humedades.
- Superficie de rodadura. Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.
- Aparato del Límite Líquido (o de Casagrande)
- Acanalador
- Calibrador

**Procedimiento:**

Se moldeo la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros. Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3.2 mm (1/8) no se ha desmoronado, se vuelve a hacer una elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.

El desmoronamiento puede manifestarse de modo distinto, en los diversos tipos de suelo: En suelos muy plásticos, el cilindro queda dividido en trozos de unos 6 mm de longitud, mientras que en suelos plásticos los trozos son más pequeños.

La porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o pesa-filtros tarados, se continúa el proceso hasta reunir unos 6 g de suelo y se determinó la humedad de acuerdo a la guía de Determinación del contenido de humedad. Se

repite, con la otra mitad de la masa, el proceso indicado.

Para determinar el límite líquido se colocó la muestra de suelo en la vasija de porcelana y mezcló completamente con 15 a 20 ml de agua destilada, agitándose, amasándola y tajándola con una espátula en forma alternada y repetida. Realizar más adiciones de agua en incrementos de 1 a 3 ml. Mézclese completamente cada incremento de agua con el suelo como se ha descrito previamente, antes de cualquier nueva adición.

Algunos suelos son lentos para absorber agua, por lo cual es posible que se adicione los incrementos de agua tan rápidamente que se obtenga un límite líquido falso. Esto puede evitarse mezclando más y durante un mayor tiempo, (1 hora aproximadamente).

Cuando haya sido mezclada suficiente agua completamente con el suelo y la consistencia producida requiera de 30 a 35 golpes de la cazuela de bronce para que se ocasione el cierre, se colocó una porción de la mezcla en la cazuela sobre el sitio en que ésta reposa en la base, y comprímase hacia abajo, extiéndose el suelo hasta obtener la posición mostrada en la Figura 3 (con tan pocas pasadas de la espátula como sea posible), teniendo cuidado de evitar la inclusión de burbujas de aire dentro de la masa. Se nivela el suelo con la espátula y al mismo tiempo emparéjese hasta conseguir una profundidad de 1 cm en el punto de espesor máximo. Se regresó el exceso de suelo a la Vasija de porcelana.

Se dividió el suelo en la taza de bronce por pasadas firmes del acanalador a lo largo del diámetro y a través de la línea central de la masa del suelo de modo que se forme una ranura limpia y de dimensiones apropiadas. Para evitar rasgaduras en los lados de la ranura o escurrimientos de la pasta del suelo a la cazuela de bronce, se permite hacer hasta 6 pasadas de adelante hacia atrás o de atrás hacia adelante, contando cada recorrido como una pasada; con cada pasada el acanalador debe penetrar un poco más profundo hasta que la última pasada de atrás hacia adelante limpie el fondo de la cazuela. Se hizo una ranura con el menor número de pasadas posible.

### **Normatividad**

ASTM D-4318, AASHTO T-90, MTC E 111-2000 (índice de



plasticidad).

ASTM D-4318, AASHTO T-89, MTC E 110-2000 (limite liquido).

### 5) Cálculos teóricos

Se realizó los cálculos teóricos (ver anexo 06, 07, 08 y 09).

#### 3.7.3. Costos

Descripción	Costo
<b>Recursos Fisicos</b>	
Utiles de escritorio (lapiceros, papel, CD)	S./ 400.00
Refrigerios por trabajo de Campo	S./ 150.00
Materiales	S./ 100.00
<b>Total</b>	<b>S./ 450.00</b>
<b>Recursos Humanos</b>	
Personal de campo (x 10 personas)	S./ 600.00
Asesoramiento	S./ 1,500.00
<b>Total</b>	<b>S./ 1,800.00</b>
<b>Servicios</b>	
Acceso a internet (200hrs)	S./ 250.00
Alquiler de camioneta (x2 día)	S./ 400.00
Movilidad para campo (x15 días)	S./ 600.00
Comunicaciones	S./ 100.00
Fotocopias, impresiones, ploteos	S./ 1,500.00
Alquiler de equipo SPT	S./ 250.00
Ensayo con hidrometro (x10)	S./ 400.00
Ensayo de análisis granulométrico (x10)	S./ 400.00
Ensayo para determinar el contenido de humedad (x10)	S./ 100.00
Ensayo para determinar la gravedad específica (x10)	S./ 100.00
Ensayo para determinar el límite líquido e índice de plasticidad (x10)	S./ 100.00
<b>Total</b>	<b>S./ 4,100.00</b>
<b>TOTAL DEL PRESUPUESTO</b>	<b>S./ 6,350.00</b>

Son seis mil trescientos cincuenta y 00/100 nuevos soles.

### 3.7.4. Normatividad

NORMA TECNICA	DESCRIPCION
BUREAU OF RECLAMATION	OFICINA DE RECLAMACION DEL AGUA
ANA	AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA
NORMA AMBIENTAL	ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL EN CUENCAS
LEY N°28611	LEY GENERAL DEL AMBIENTE
LEY N°17752	LEY GENERAL DE AGUAS
MANUAL DE HIDROLOGIA, HIDRAULICA Y DRENAJE	PARAMETROS NECESARIOS PARA EL CALCULO

Fuente: Elaboración propia

### 3.8. Análisis Estadístico e Interpretación de Datos

#### 3.8.1. Enfoque cualitativo

Se examinó las guías de análisis de documentos obtenidos de la Escuela de Ingeniería Civil, ANA, y otras relacionadas al presente estudio.

#### 3.8.2. Enfoque cuantitativo

Se utilizó la estadística descriptiva contemplada en la información consignada por PEJEZA:

Promedios, valores máximos y mínimos, método de los promedios y demás otros sugeridos por los métodos estadísticos para determinar los caudales máximos. Así mismo se utilizará el software de Microsoft office Excel y el software Microsoft Project, para procesar los datos, tabularios y datos.

### **3.9. Principios Éticos**

#### **3.9.1. Ética de la recolección de datos**

La aplicación de los formatos para los estudios se basó en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Las entrevistas realizadas estuvieron orientadas al tema en estudio, sin ambigüedades. Se contó con base teórica actualizada y confidencial que nos permitió como guía recopilar la información hidráulica del tema en estudio. Se respetó la norma técnica peruana para la recolección de muestras insitu del estudio de mecánica de suelos.

#### **3.9.2. Ética de la publicación**

Seguros de contar con los resultados óptimos producto de nuestra investigación, tomando en cuenta las Normas Técnicas Peruanas (NTP) en nuestro estudio, procederemos a dar por terminado nuestro informe final de Tesis, el mismo que servirá para posteriores estudios.

#### **3.9.3. Ética de la aplicación**

Nuestra investigación generó beneficios sociales, económicos y ambientales, dependiendo de quién se da derecho para utilizar los resultados de la investigación.

#### **3.9.4. Código ético de la profesión**

### **CAPÍTULO III**

#### **Sub Capítulo I**

#### **DE LA RELACIÓN CON LA SOCIEDAD**

**Artículo 99.-** Los ingenieros cuidarán que los recursos humanos, económicos, naturales y materiales, sean racional y adecuadamente utilizados,

evitando su abuso o dispendio, respetarán y harán respetar las disposiciones legales que garanticen la preservación del medio ambiente.

**Artículo 100.-** Los ingenieros ejecutarán todos los actos inherentes a la profesión de acuerdo a las reglas técnicas y científicas procediendo con diligencia; autorizarán planos, documentos o trabajos solo cuando tengan la convicción de que son idóneos y seguros, de acuerdo a las normas de Ingeniería.

**Artículo 103.-** Los ingenieros están obligados a cuidar el territorio de trabajo de la ingeniería peruana y fomentar el desarrollo tecnológico del Perú.

## **Sub Capítulo II DE LA RELACIÓN CON EL PÚBLICO**

**Artículo 106.-** Los ingenieros, al explicar su trabajo, méritos o emitir opiniones sobre temas de ingeniería, actuarán con seriedad y convicción, cuidando de no crear conflictos de intereses, esforzándose por ampliar el conocimiento del público a cerca de la ingeniería y de los servicios que presta a la sociedad.

**Artículo 107.-** Los ingenieros no participarán en la difusión de conceptos falsos, injustos o exagerados acerca de la ingeniería en la actividad pública o privada, de proyectos, productos, métodos o procedimientos relativos a la ingeniería.

## **Sub Capítulo III DE LA COMPETENCIA Y PERFECCIONAMIENTO DE PROFESIONAL**

**Artículo 109.-** Los ingenieros realizarán trabajos de ingeniería solamente cuando cuenten con estudios o experiencia en el campo específico de la ingeniería de que se trata.

**Artículo 110.-** Los ingenieros podrán aceptar trabajos que requieran estudios o experiencias ajenos a los suyos, siempre que sus servicios se limiten a aquellos aspectos para los cuales están calificados, debiendo los demás ser realizados por asociados, consultores o empleados calificados.

**Artículo 111.-** Los ingenieros autorizarán planos, documentos o trabajos sólo cuando hayan sido elaborados por ellos, o ejecutados bajo su control.

#### **Sub Capítulo IV**

#### **DE LA PROMOCIÓN Y PUBLICIDAD**

**Artículo 115.-** Los ingenieros podrán hacer promoción de sus servicios profesionales sólo cuando ella no contenga lenguaje jactancioso o engañoso o en cualquier forma denigrante de la profesión.

En la promoción que realicen los ingenieros se abstendrán de garantizar resultados que por razones técnicas, económicas o sociales sean de imposible o dudoso cumplimiento.

### **3.10. Criterios de Rigor Científico**

#### **Generalidades**

“Mediante la aplicación de las entrevistas se obtuvieron respuestas en función al cuestionario, que nos permitieron dar validez externa después de haber sido cotejadas con otras fuentes teóricas” (Merino, 2015, p.97).

#### **Fiabilidad**

“Todos los estudios a realizar en dicho proyecto de investigación, son confiables debido a la correcta utilización de estos equipos guiados de manuales de uso de estos ensayos” (Merino, 2015, p.97).

## **Replicabilidad**

“El diseño y modelación de nuestro proyecto en estudio es supeditado a diversos factores que van a contribuir con los resultados a obtener” (Merino, 2015, p.97):

- “Factores climáticos: Lluvia, frío, calor, etc.” (Merino, 2015, p.97).
- “Factores económicos: Depreciación de los equipos” (Merino, 2015, p.97).
- “Factores tecnológicos: Si se cuenta con los equipos adecuados para los ensayos en el Laboratorio de Suelos” (Merino, 2015, p.97).

# **CAPITULO IV**

## **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

## 4.1. Resultados en tablas y gráficos

### 4.1.1. Estudio de Mecánica de Suelos en el Embalse de la Represa Gallito Ciego

Las muestras se recolectaron en el embalse de la Represa Gallito Ciego, se tomó de dos puntos específicamente (ver anexo 12, P-11: Plano de ubicación de muestras):

El centro del embalse: C-1, C-2, C-3.

La cola del embalse: C-4, C-5, C-6.

Para ello se hizo un ensayo SPT (ver figura 23) el cual no se pudo concluir debido a que el suelo es rocoso y se intentó realizar el ensayo con Posteadora sin éxito (ver figura 24), por consiguiente se hizo uso de una herramienta manual llamada pala que nos sirvió de ayuda para lo mencionado (ver figura 25).



**Figura 23:** Muestreo con SPT (Coordenadas UTM  
- E: 703.143 / N: 9'201.425).





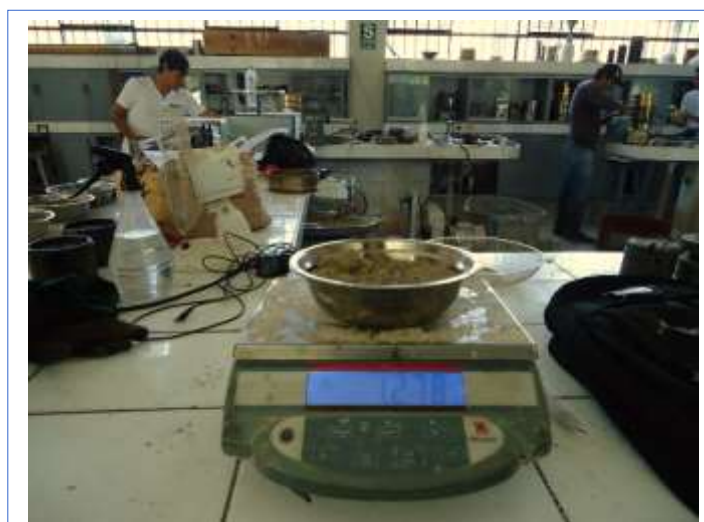
Se realizaron los siguientes ensayos: Ensayo de análisis granulométrico, Ensayo para determinar la gravedad específica, Ensayo para determinar el contenido de humedad, Ensayo para determinar el límite líquido e índice de plasticidad.

## 1. Ensayo para determinar el Contenido de Humedad

Las muestras serán preservadas y transportadas de acuerdo a la Norma ASTM D - 4220, a continuación, se colocan las muestras húmedas en un recipiente previamente tarado, para proceder a pesar la muestra húmeda más el recipiente, obteniendo la muestra en mención. Luego se coloca el conjunto dentro del horno durante 24 horas, a una temperatura de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}$  C. Transcurrido dicho tiempo, se determina el peso del recipiente con la muestra seca (Ms).

Referencia: ASTM 4220, MTC E 108-2000.

Cálculos del ensayo para determinar el Contenido de Humedad (Ver anexo 08).



**Figura 26:** *Ensayo para determinar el Contenido de Humedad.*

A continuación los resultados del ensayo para determinar el Contenido de Humedad:

**TEMA** : “Solución al Problema de Sedimentación de la Represa Gallito Ciego”  
**TESISTA** : Vasquez Rivera Marcelita del Pilar  
**UBICACIÓN** : Muestra extraída del embalse de la represa Gallito Ciego  
**ENSAYO** : SUELO. Método de ensayo para obtener el contenido de humedad  
**REFERENCIA** : ASTM D-2216, MTC E 108-2000

Calicata : C-1	Coordenada E : 703,113
Profundidad : 0.00m. - 0.80m.	Coordenada N : 9'201,404
<b>Contenido de humedad</b>	<b>18.71 %</b>
Calicata : C-2	Coordenada E : 703,136
Profundidad : 0.00m - 0.50m.	Coordenada N : 9'201,412
<b>Contenido de humedad</b>	<b>18.15 %</b>
Calicata : C-3	Coordenada E : 706,738
Profundidad : 0.00m - 1.80m.	Coordenada N : 9'197,814
<b>Contenido de humedad</b>	<b>1.58 %</b>
Calicata : C-4	Coordenada E : 703,152
Profundidad : 0.00m - 2.30m.	Coordenada N : 9'201,422
<b>Contenido de humedad</b>	<b>1.19 %</b>
Calicata : C-5	Coordenada E : 706,738
Profundidad : 0.00m - 1.20m	Coordenada N : 9'197,814
<b>Contenido de humedad</b>	<b>0.65 %</b>
Calicata : C-6	Coordenada E : 706,738
Profundidad : 0.00m - 0.20m	Coordenada N : 9'197,814
<b>Contenido de humedad</b>	<b>1.49 %</b>

**Figura 27:** *Ensayo Contenido de Humedad de las muestras.*

Fuente: Elaboración propia

En la figura 27 se puede observar el contenido de humedad de: la muestra C-1 tiene un 18.71%, la muestra C-2 tiene un 18.15%, la muestra C-3 tiene un 1.58%, la muestra C-4 tiene un 1.19%, la muestra C-5 tiene un 0.65%, la muestra C-6 tiene un 1.49%.

## 2. Ensayo para determinar el Análisis Granulométrico

Se obtuvo la distribución por tamaño de las partículas presentes en las muestras de suelo. Así también fue posible su clasificación mediante sistemas como AASHTO o USCS. Se homogenizó cuidadosamente el total de las muestras en estado natural, tratando de evitar romper sus partículas individuales,

especialmente si se trata de un material blando, piedra arenosa u otro similar. Se redujo por cuarteo una cantidad de muestra levemente superior a la mínima recomendada según el tamaño máximo de partículas del árido. Se seca el material ya sea al aire a temperatura ambiente, o bien dentro de un horno a una temperatura inferior a 60° C, hasta conseguir pesadas consecutivas constantes en la muestra cada 30 minutos.

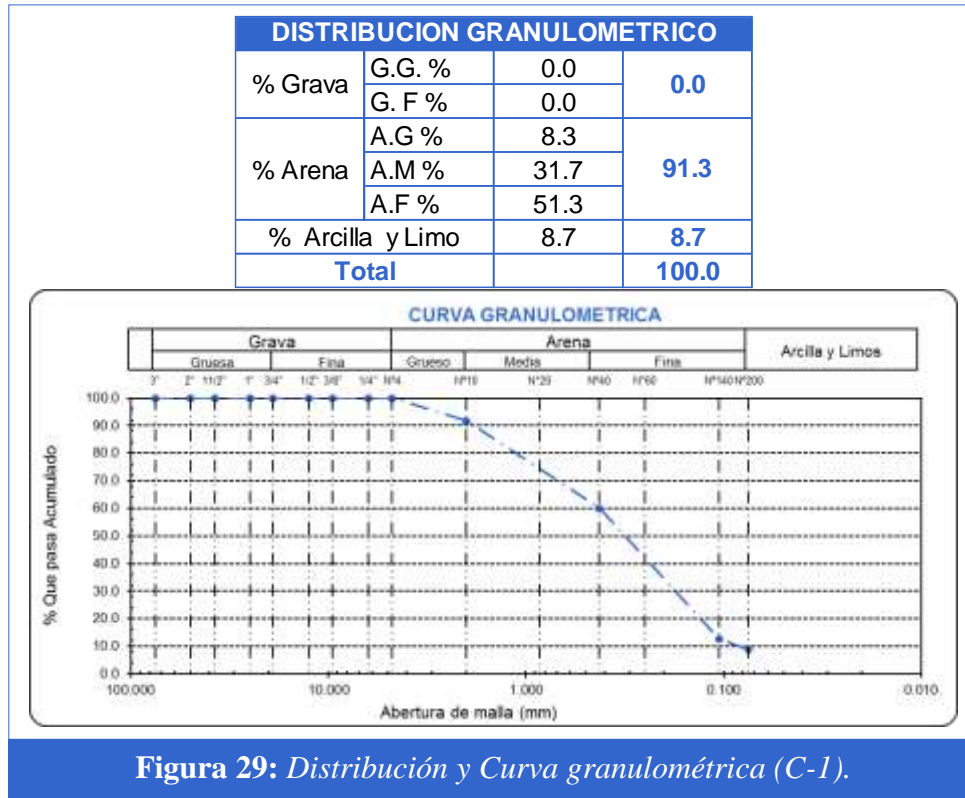
Referencia: ASTM D-422, AASHTO T88, MTC E 107-2000.

Cálculos del ensayo Análisis Granulométrico (Ver anexo 06).



**Figura 28:** *Ensayo para determinar Análisis Granulométrico.*

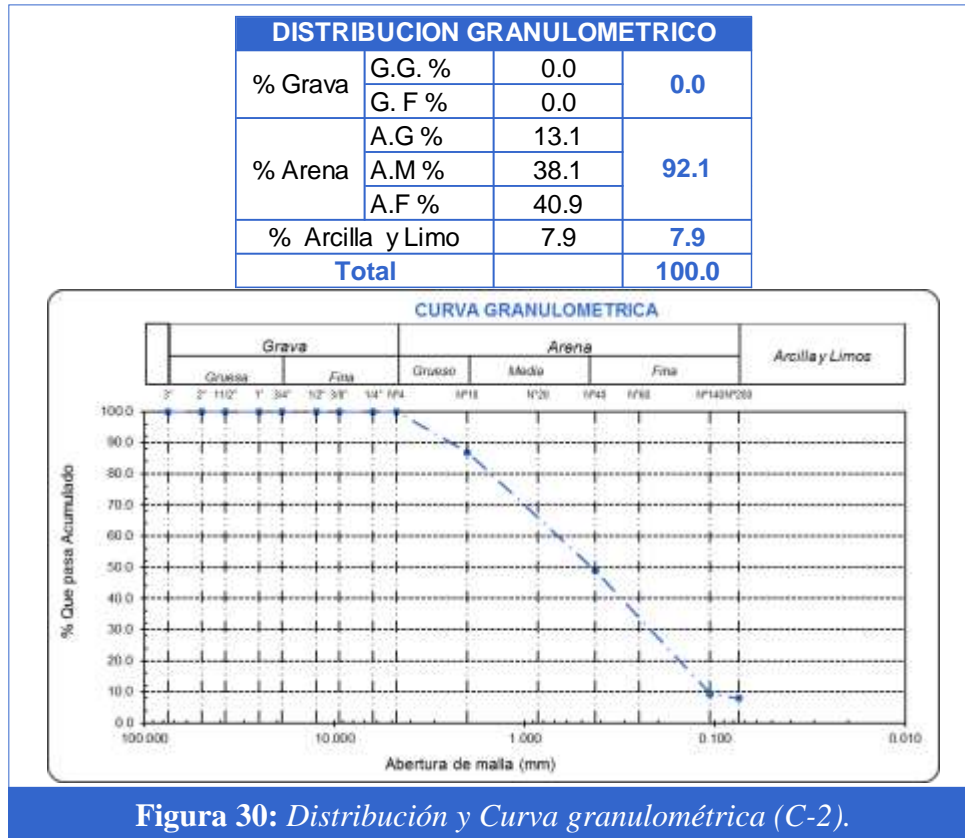
A continuación los resultados del ensayo Análisis Granulométrico:



**Figura 29:** *Distribución y Curva granulométrica (C-1).*

Fuente: Elaboración propia

En la figura 29 se puede observar que la muestra C-1 tiene un 91.3% de arena y; 8.7% de arcilla y limo.

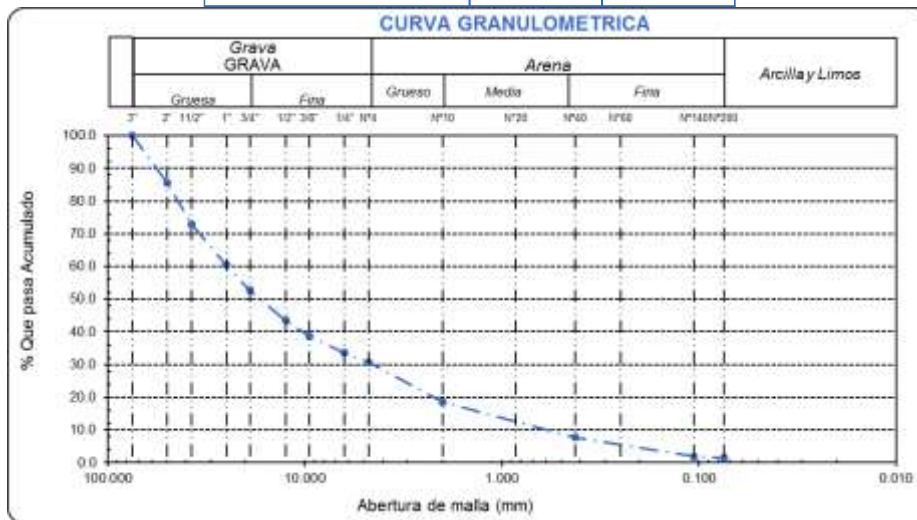


**Figura 30:** *Distribución y Curva granulométrica (C-2).*

Fuente: Elaboración propia

En la figura 30 se puede observar que la muestra C-2 tiene un 92.1% de arena y; 7.9 de arcilla y limo.

DISTRIBUCION GRANULOMETRICO			
% Grava	G.G. %	47.3	69.3
	G. F %	22.0	
% Arena	A.G %	12.2	29.2
	A.M %	10.8	
	A.F %	6.2	
% Arcilla y Limo		1.5	1.5
<b>Total</b>			<b>100.0</b>



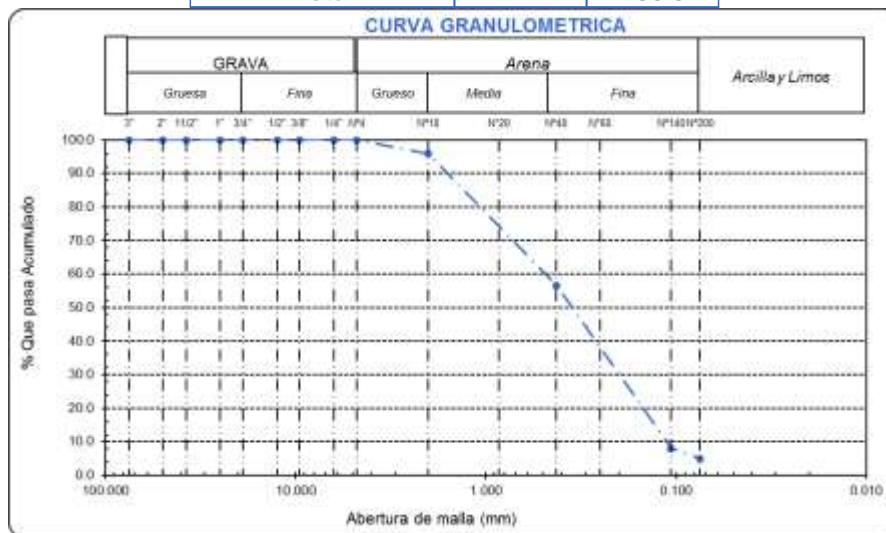
**Figura 31:** Distribución y Curva granulométrica (C-3).

Fuente: Elaboración propia

En la figura 31 se puede observar que la muestra C-3 tiene un 69.3% de grava 29.2% de arena y; 1.5 de arcilla y limo.



DISTRIBUCION GRANULOMETRICO			
% Grava	G.G. %	0.0	<b>0.0</b>
	G. F %	0.0	
% Arena	A.G %	4.2	<b>95.1</b>
	A.M %	39.2	
	A.F %	51.7	
% Arcilla y Limo		4.9	<b>4.9</b>
<b>Total</b>			<b>100.0</b>



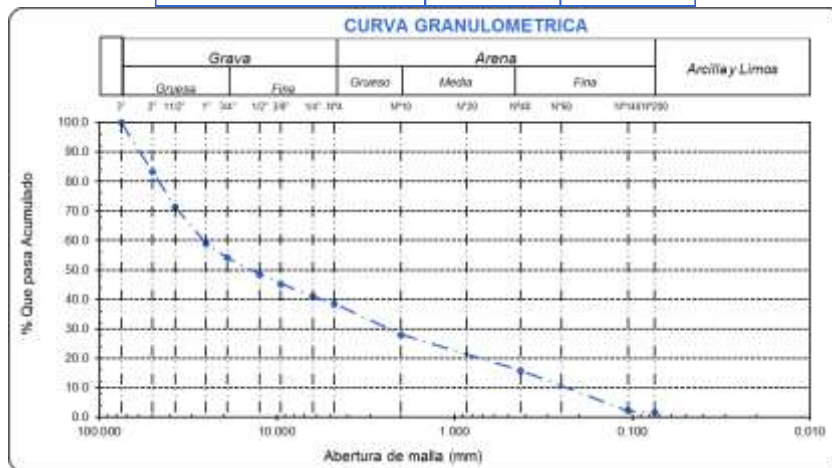
**Figura 32:** Distribución y Curva granulométrica (C-4).

Fuente: Elaboración propia

En la figura 32 se puede observar que la muestra C-4 tiene un 95.1% de arena y; 4.9 de arcilla y limo.



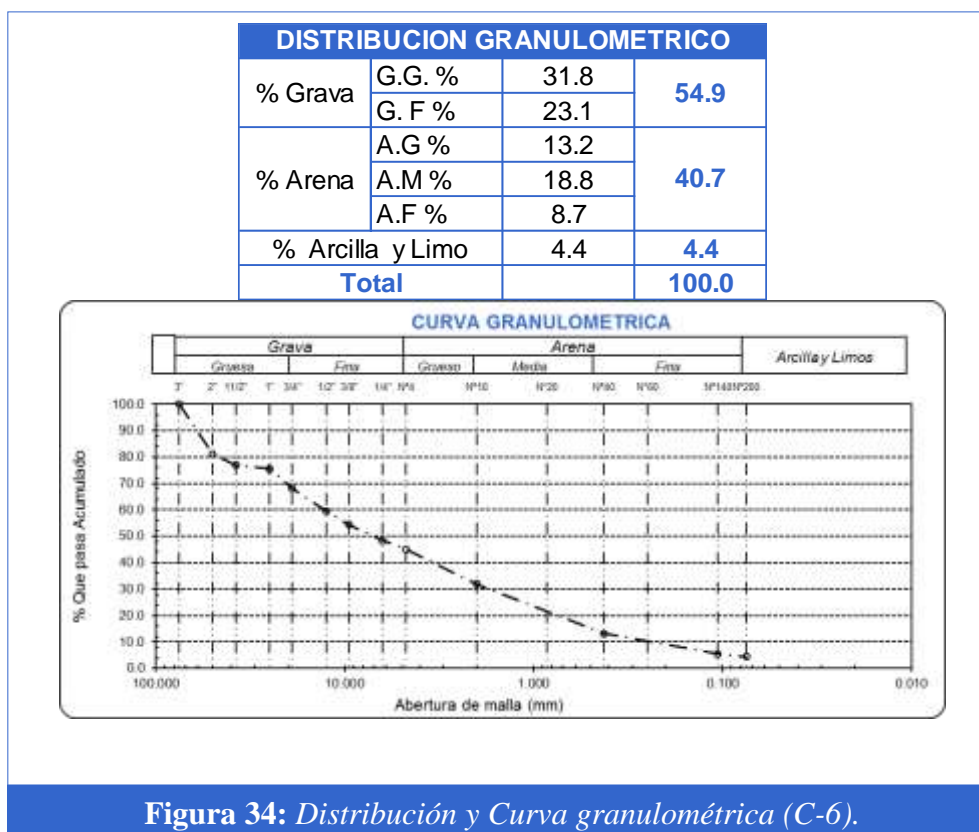
DISTRIBUCION GRANULOMETRICO			
% Grava	G.G. %	46.0	61.5
	G. F %	15.5	
% Arena	A.G %	10.5	37.1
	A.M %	12.3	
	A.F %	14.3	
% Arcilla y Limo		1.4	1.4
<b>Total</b>			<b>100.0</b>



**Figura 33:** *Distribución y Curva granulométrica (C-5).*

Fuente: Elaboración propia

En la figura 33 se puede observar que la muestra C-5 tiene un 61.5% de grava 37.1% de arena y; 1.4 de arcilla y limo.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 34 se puede observar que la muestra C-6 tiene un 54.9% de grava 40.7% de arena y; 4.4 de arcilla y limo.

### 3. Ensayo para determinar Gravedad Específica

Este modo operativo se utiliza para determinar el peso específico de los suelos y del relleno mineral (filler) por medio de un picnómetro. Cuando el suelo está compuesto de partículas mayores que el tamiz de 2.38 mm (N° 8), deberá seguirse el método de ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso. Cuando el suelo está compuesto por partículas mayores y menores que el tamiz de 2.38 mm (N° 8), se utilizará el método de ensayo correspondiente a cada porción. El valor del peso específico para el suelo será el promedio ponderado de los dos valores así obtenidos. Cuando el valor del peso específico sea utilizado en cálculos relacionados con la porción hidrométrica del análisis granulométrico de suelos, debe determinarse el peso específico de la porción de suelo que pasa el tamiz de 2.00 mm (N° 10).

Referencia: ASTM D-854, AASHTO T-100, MTC E 113-2000.  
Cálculos del ensayo Gravedad Especifica (Ver anexo 07).



**Figura 35:** *Ensayo para determinar Gravedad Especifica.*

A continuación los resultados del ensayo Gravedad Especifica:

**TEMA** : “Solución al Problema de Sedimentación de la Represa Gallito Ciego”  
**TESISTA** : Vasquez Rivera Marcelita del Pilar  
**ENSAYO** : SUELO. Método de suelo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo  
**REFERENCIA** : NORMA N.T.P. 399.131:1999

Calicata : C-1 / M-1	Coordenada E : 703,113
Profundidad : 0.00m. - 0.80m.	Coordenada N : 9'201,404
<b>Gravedad Específica de Sólidos (Gs)</b> : 2.66 g/cm <sup>3</sup>	
Calicata : C-2 / M-2	Coordenada E : 703,136
Profundidad : 0.00m - 0.50m.	Coordenada N : 9'201,412
<b>Gravedad Específica de Sólidos (Gs)</b> : 2.63 g/cm <sup>3</sup>	
Calicata : C-3 / M-3	Coordenada E : 706,738
Profundidad : 0.00m - 1.80m.	Coordenada N : 9'197,814
<b>Gravedad Específica de Sólidos (Gs)</b> : 2.65 g/cm <sup>3</sup>	
Calicata : C-4 / M-4	Coordenada E : 703,152
Profundidad : 0.00m - 2.30m.	Coordenada N : 9'201,422
<b>Gravedad Específica de Sólidos (Gs)</b> : 2.56 g/cm <sup>3</sup>	
Calicata : C-5 / M-5	Coordenada E : 706,738
Profundidad : 0.00m - 1.20m	Coordenada N : 9'197,814
<b>Gravedad Específica de Sólidos (Gs)</b> : 2.68 g/cm <sup>3</sup>	
Calicata : C-6 / M-6	Coordenada E : 706,738
Profundidad : 0.00m - 0.20m	Coordenada N : 9'197,814
<b>Gravedad Específica de Sólidos (Gs)</b> : 2.78 g/cm <sup>3</sup>	

**Figura 36:** *Ensayo Gravedad específica de las muestras.*

Fuente: Elaboración propia

En la figura 36 se puede observar la gravedad específica de la muestra C-1 tiene un 2.66 g/cm<sup>3</sup>, la muestra C-2 tiene un 2.63 g/cm<sup>3</sup>, la muestra C-3 tiene un 2.65 g/cm<sup>3</sup>, la muestra C-4 tiene un 2.56 g/cm<sup>3</sup>, la muestra C-5 tiene un 2.68 g/cm<sup>3</sup> y la muestra C-6 tiene un 2.78 g/cm<sup>3</sup>.

#### **4. Ensayo para determinar el Limite Líquido e Índice de plasticidad**

Se tomó de cada muestra completamente mezclada 150 – 200g que pasa por el tamiz N°40, colocándose en una vasija con agua destilada, agitándola,

amasándola y tajándola con una espátula, la consistencia producida requiere de 30 – 35 golpes de la cazuela de bronce para que ocasione un cierre, se divide el suelo en la taza de bronce con pasadas firmes del acanalador, para posteriormente sacar una tajada que se pesara y se llevara al horno. Repítase la operación anterior por los menos 2 veces, con el suelo restante.

Para el índice de plasticidad se tomó 15g de la porción de suelo humedecida y amasada, preparada de acuerdo con la norma MTC E111 (determinación del límite líquido de los suelos), la muestra debe tomarse en una etapa del proceso de amasado, en que se pueda formar fácilmente con ella una esfera, sin que se pegue demasiado en los dedos sin aplastarla. Si el ensayo se ejecuta después de realizar el límite líquido y en dicho intervalo la muestra se ha secado, se añade más agua.

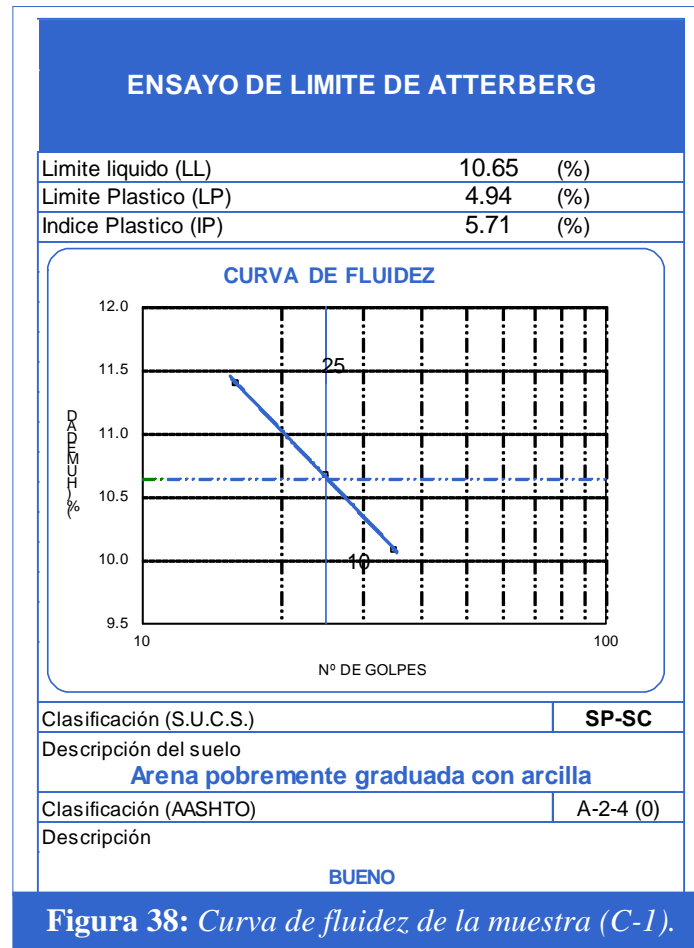
Referencia: ASTM D-4318, AASHTO T-90, MTC E 111-2000.

Cálculos del ensayo Límite líquido e Índice de Plasticidad (Ver anexo 09).



**Figura 37:** *Ensayo para determinar Límite líquido e Índice de Plasticidad.*

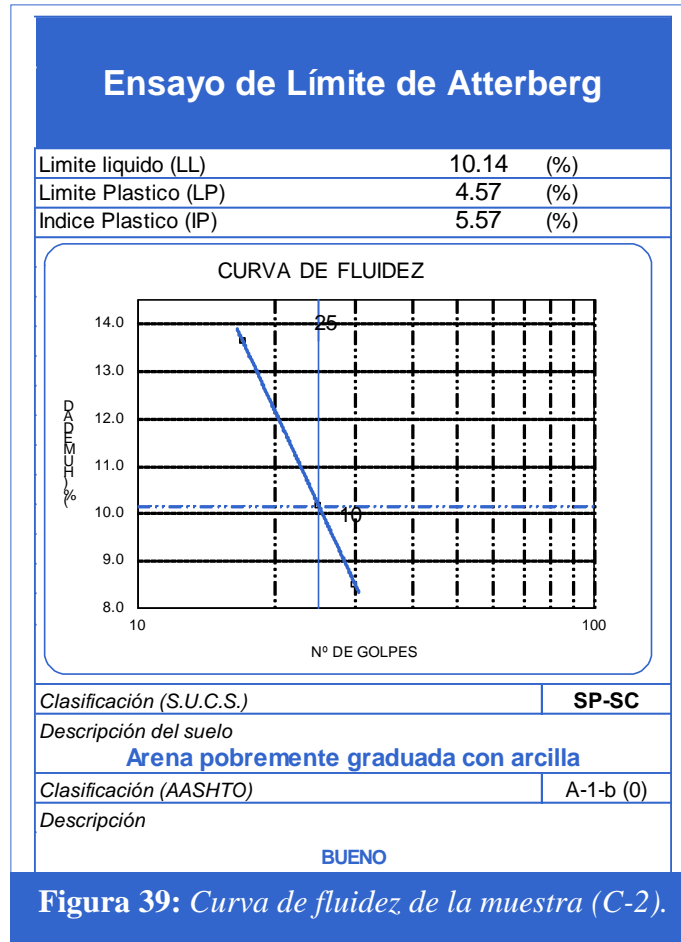
A continuación los resultados del ensayo Límite Líquido e Índice de Plasticidad:



**Figura 38:** Curva de fluidez de la muestra (C-1).

Fuente: Elaboración propia

En la figura 38 se puede observar que la muestra C-1 tiene un 10.65% de límite líquido, 4.94% límite plástico y 5.71% de índice plástico, se describe como una arena pobremente graduada con arcilla.



**Figura 39:** Curva de fluidez de la muestra (C-2).

Fuente: Elaboración propia

En la figura 39 se puede observar que la muestra C-2 tiene un 10.14% de límite líquido, 4.57% límite plástico y 5.57% de índice plástico, se describe como una arena pobremente graduada con arcilla.

Las siguientes muestras no presentaron límite líquido e índice de plasticidad: la muestra C-3, la muestra C-4, la muestra C-5 y la muestra C-6 (ver anexo 09).

#### 4.1.2. Análisis de la Situación Actual de la Colmatación del Embalse

En la represa Gallito Ciego se cuenta con una serie de estudios batimétricos realizados en el embalse, de los años 1991, 1993, 1999, 2000, 2006, 2007, 2010 y 2013 (sobre esta última batimetría, se cuenta con información total), ver anexo 01. No se trabajó con batimetría actualizada ya que el costo de los servicios de levantamiento batimétrico ascienden a la suma de S/.60,000.00 soles, sin incluir el IGV (ver anexo 10), monto ofertado por la empresa AQUA PLAN INGENIEROS S.A.C. El cálculo de volúmenes de la batimetría de los años de 1993, 1999 y 2000 los realizó la empresa PEJEZA y el cálculo de volúmenes de la batimetría de los años 2006, 2007, 2010 y 2013 los realizó la empresa H&O INGENIEROS (ver tabla 9).

En la tabla 8 se observa el volumen de sedimento obtenido en el período 1988-2013 de  $104.56 \times 10^6 \text{ m}^3$  distribuidos en todo el embalse, claro está que estos fueron obtenidos en 25 años (ver figura 41) como se muestra en la tabla 10. Es decir que el almacén de volumen muerto está decreciendo constantemente y por consiguiente la vida útil del embalse.

**Tabla 8:**  
*Capacidad del embalse Gallito Ciego al 2013.*

DESCRIPCION	COTA (msnm)	ESTUDIO SALZGITTER 1991 (MMC)	BATIMETRIA 2013		
			CAPACIDAD MMC	VOLUMEN SEDIMENTADO	
				MMC	%
VOLUMEN DE CRECIDAS	410.3 - 404.0	93.40	93.15	0.25	0.3
VOLUMEN UTIL	404.0 - 361.0	426.80	366.60	60.20	14.1
VOLUMEN INACTIVO	Menor a 361.0	117.90	73.79	44.11	37.4
VOLUMEN TOTAL (MMC)	Menor a 410.30	638.10	533.54	104.56	16.4

Fuente: Batimetría 2013 – PEJEZA.



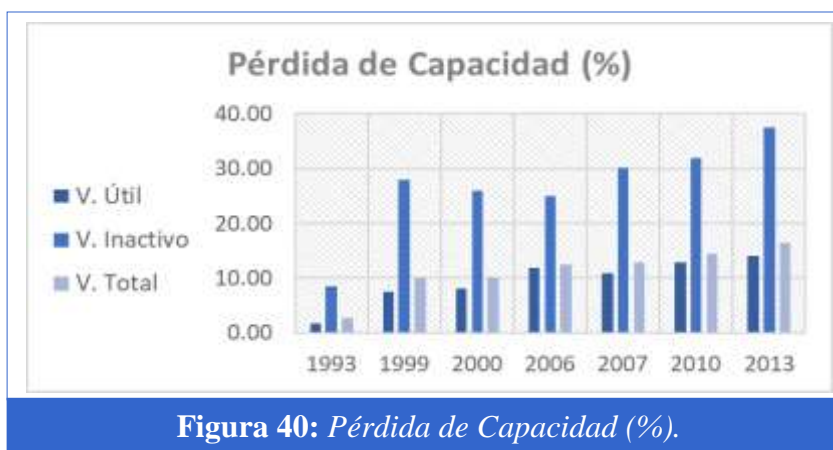
**Tabla 9:***Sedimentación en el embalse Gallito Ciego al 2013.*

DESCRIPCIÓN	COTA (msnm)	ESTUDIO SALZGITER 1991	ESTUDIO TOPOGRAFICO BATIMETRICO PEJEZA						BATIMETRIA							
			1993		1999		2000		2006		2007		2010		2013	
			Capacidad	Volumen Sedimentado	Capacidad	Volumen Sedimentado	Capacidad	Volumen Sedimentado	Capacidad	Volumen Sedimentado	Capacidad	Volumen Sedimentado	Capacidad	Volumen Sedimentado	Capacidad	Volumen Sedimentado
<b>Volumen de Crecidas</b>	<b>410.3-404.0</b>	93.40	93.40	0.00	94.16	-0.76	94.42	-1.02	93.67	-0.27	93.73	-0.33	93.43	-0.03	<b>93.15</b>	0.25
<b>Volumen Util</b>	<b>404.0-361.0</b>	426.80	419.61	7.19	394.75	32.05	392.02	34.78	375.84	50.96	379.90	46.90	371.63	55.17	<b>366.60</b>	60.20
<b>Volumen Inactivo</b>	<b>Menor a 361.0</b>	117.90	107.87	10.03	84.93	32.97	87.18	30.72	88.38	29.52	82.30	35.60	80.39	37.51	<b>73.79</b>	44.11
<b>VOLUMEN TOTAL (MMC)</b>	<b>Menor a 410.30</b>	<b>638.1</b>	<b>620.88</b>	<b>17.22</b>	<b>573.84</b>	<b>64.26</b>	<b>573.62</b>	<b>64.48</b>	<b>557.89</b>	<b>80.21</b>	<b>555.93</b>	<b>82.17</b>	<b>545.45</b>	<b>92.65</b>	<b>533.54</b>	<b>104.56</b>
Años de Operación Presa Gallito Ciego			5		11		12		18		19		22		25	
Pérdida Promedio por Año			3.44		5.84		5.37		4.46		4.32		4.21		4.18	
Volumen Sedimentado			47.04		0.22		15.73		1.96		10.48		11.91			
Razón de Volumen Sedimentado			7.84		0.22		2.62		1.96		3.49		3.97			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 9 se observa la situación actual de la represa con batimetría del año 2013 (ver anexo 01), la última que hasta la fecha se ha realizado. En estos casos, las tasas de pérdida del volumen indican un alto grado de erosión en las cuencas, asociado a una utilización inadecuada de la tierra y de los recursos naturales. Esto concuerda con las condiciones

adversas relativas a la sedimentación: pendientes altas, escasa cobertura vegetal y precipitaciones intensas en eventos extremos. A partir de las mediciones batimétricas, se han realizado estimaciones de las producciones específicas de sedimentos en el embalse Gallito Ciego (ver figura 40).



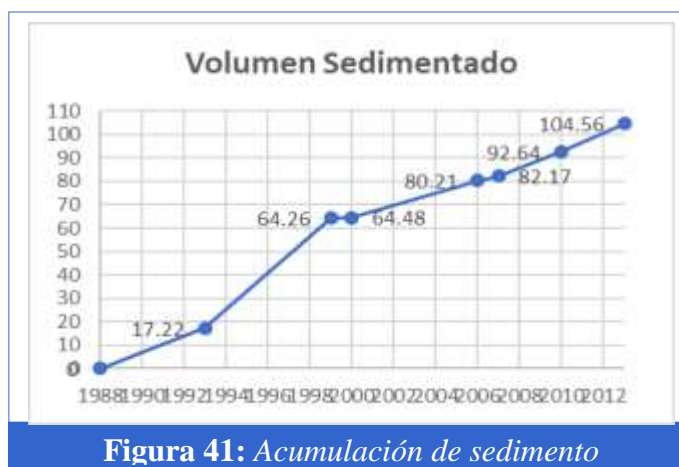
**Figura 40:** Pérdida de Capacidad (%).

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10:** Registro de sedimento acumulado en el embalse.

Año de la batimetría	Volumen acumulado (MMC)
1993	17.22
1999	64.26
2000	64.48
2006	80.21
2007	82.17
2010	92.64
2013	104.56

Fuente: Elaboración propia



**Figura 41:** Acumulación de sedimento

Fuente: Elaboración propia

## **Proyección de la Sedimentación Acumulada**

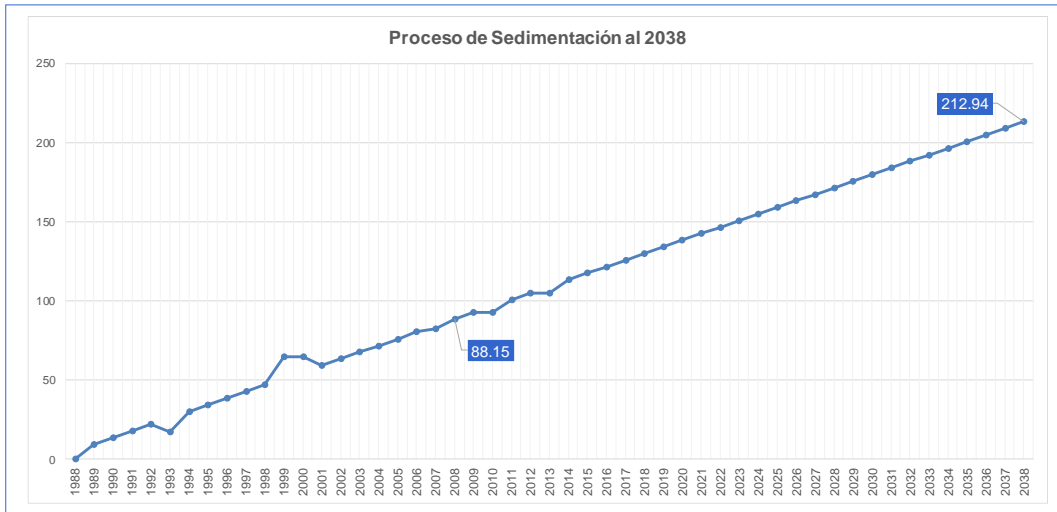
Para la proyección de la sedimentación se tomó en cuenta la tendencia de ha tenido ésta en el embalse de la represa Gallito Ciego.

Durante los primeros 11 años (1988-1999) el proceso de sedimentación ha sido muy acelerado debido al Fenómeno del Niño que se produjo en el año 1998, donde se registró el ingreso de 24.15 millones de metro cúbicos (MMC) de sedimento (ver anexo 04), después de 1999 la sedimentación ya no ha sido tan pronunciada, pero si se mantenía una tendencia mayor con la que se diseñó.

Salzgitter estimó que la colmatación al año iba a ser de 1.7 MMC. Pero esos estudios se hicieron sin tener todos los registros históricos del río; solo se disponía del año 40 hasta el 70 y durante ese periodo, no hubo caudales extraordinarios como en el 25 y ese registro no existía.

Se sabía que fue un año extraordinario pero no había datos cuantificables todos eran cualitativos. Salzgitter hace el estudio y determina la tasa de 1.7 MMC que resultó totalmente baja.

Para los años venideros, se ha tomado en cuenta una proyección lineal manteniendo la razón anual que ha tenido en sus primeros 25 años (1988-2013), tendencia que se mantendrá por los 25 años siguientes hasta el final de su vida útil proyectada.



**Figura 42:** *Proyección volumen acumulado de sedimentos (1987-2016).*

Fuente: Elaboración propia

La figura 42 presenta los volúmenes de sedimento para los años venideros expresados en millones de metros cúbicos (MMC). Hasta el año 2038, se obtuvo el volumen de sedimento acumulado, ya que para este año llega al final de su vida útil proyectada y como se ve también, para el año 2008 ya cumplió con un final de vida útil prematura.

# **CAPÍTULO V**

## **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**

## 5.1. Alternativas de Solución Aplicadas al Problema de Sedimentación de la Represa Gallito Ciego

### 5.1.1. Dragado

En el caso de Gallito Ciego, se hizo una cotización (ver anexo 10) con una empresa dedicada a la remoción de sedimentos con escombros, rocas y material cohesivo; SEDICON. La empresa trabaja con un sistema que utiliza la gravedad como fuerza de conducción y se caracteriza por su alta eficiencia y un bajo consumo de agua. La draga para embalses se diseña a la medida para transportes a larga distancia o para distintas capacidades. No requiere ningún tipo de combustible, ni electricidad para el dragado.

Descripción	Costo
<b>Costos Fijos</b>	
Costo de draga SEDICON, CIF en el puerto de Perú	\$ 7'100,000 USD
Costo del túnel a través de la represa	\$ 1'300,000 USD
<b>Total</b>	<b>\$ 8'400,000 USD</b>
<b>Costos Variables</b>	
Costo operativo	\$530,000 USD/año
Costo por la operación del sistema de inyección de agua	\$ 100,000 USD/año
Costo de mantenimiento (5% de inversión)	\$ 305,000 USD/año
<b>Total</b>	<b>\$ 935,000 USD/año</b>

Fuente: Elaboración propia

Entonces, para poder calcular el costo por m<sup>3</sup> del sistema calcularemos el periodo para descolmatar la represa:

La información de referencia para embalses en condiciones similares a la represa (según SEDICON), tendría que ser necesario remover alrededor de 4.9 MMC/año; con una cantidad a retirar de sedimentos de la represa Gallito Ciego de 104.56 MMC.

Entonces:

Si el costo aproximado en el periodo de un año es de: USD \$ 935,000.00 + \$ 8'400,000.00 = \$ 9'335,000.00 / 4'900,000 m<sup>3</sup> = 1.9 USD \$/m<sup>3</sup>.

### **5.1.2. Sistema de Hidrosucción**

Para el diseño del sistema de Hidrosucción de la Represa hemos usado los datos disponibles que nos fueron facilitados por: Proyecto Especial Jequetepeque Zaña (PEJEZA) y Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Este diseño se ha realizado con los datos de la granulometría (ver anexo 06), que se obtuvo en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Señor de Sipan. Las muestras para el ensayo se obtuvieron del embalse de la represa (ver anexo 12, P-11: Plano ubicación de muestras). El sedimento depositado es una arena pobremente graduada con arcilla (SP - SC), esto indica que la granulometría cumple con el requisito de estar en el rango de las arenas, limos y arcillas (ver capítulo II).

Para el uso del sistema se consideró (ver capítulo II), que la carga piezométrica (diferencia de nivel entre aguas arriba y aguas debajo de la presa) que existe en la represa, no deberá ser mayor a 7 m para evitar cavitación en el sifón (ver anexo 12, P-12: Sistema de hidrosucción).

Para poder orientarnos mejor en la distribución y hallar la longitud del sistema, para la extracción de sedimentos nos basamos en el plano P-4: Presa Gallito Ciego – Plano General de Obras (ver anexo 12). Por lo tanto se consideró que la longitud aproximada del sistema será de 1600 m. (ver anexo 12, P-12: Sistema de hidrosucción).

Para el diseño del sistema de hidrosucción, se siguieron los pasos que se presentó en el capítulo II del presente trabajo, como resultado final se tiene un diámetro de tubería DTUB = 1.00 m, con una descarga de 3 MMC anuales entrantes. Se sabe que la pérdida promedio por año es de 4.18 MMC (ver anexo 04), por lo tanto es necesario instalar 2 tuberías para obtener una descarga superior al ingreso anual por año.

El costo del sistema se hizo basado en la cotización que presento la empresa INKA PERU CONSULTORES S.A.C (transporte e instalación del sistema, ver anexo 10); en conjunto con la empresa LIBAVU INGENIEROS S.A.C. (fabricación de la tubería, ver anexo 10). En resumen del costo de fabricación e instalación del sifón es de 1'315,204.00 soles sin incluir IGV, con una vida útil de 10 años.

Entonces, para poder calcular el costo por m<sup>3</sup> del sistema en un periodo mínimo de 10 años, tendremos que calcular la cantidad probable a retirar de sedimentos del embalse en ese periodo de años.

Así, tenemos:

Si se retiran 3'000 000 m<sup>3</sup>/ año x 10 años = 30'000,000 m<sup>3</sup> de sedimentos.

Para la alternativa 01: Si el costo aproximado del sistema en este periodo es de S/. 1'315, 204.00 = USD \$ 405,927.16, entonces el costo por m<sup>3</sup> es = USD \$ 405,927.16 / 30'000,000 m<sup>3</sup> = 0.014 USD \$/m<sup>3</sup>.

Para la alternativa 02: Si el costo aproximado del sistema en este periodo es de S/. 1'192,289.60 = USD \$ 367,990.62, entonces el costo por m<sup>3</sup> es = USD \$ 367,990.62 / 30'000,000 m<sup>3</sup> = 0.012 USD \$/m<sup>3</sup>.



## **Operación del Sistema**

Se tendrá en cuenta las siguientes recomendaciones para la eficiente operación del sistema:

- La tubería de succión debe ser lo más corta posible, evitando accesorios tales como codos y válvulas, pero, de ser necesarios se deben instalar con cuidado para evitar la alteración del flujo uniforme.
- Los codos de radio largo son preferibles porque crean menos fricción y generan una distribución de flujo más uniforme que los de radio corto.

# **CAPÍTULO VI**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 6.1. Conclusiones

1. La Represa Gallito Ciego respecto al año 1991 ha disminuido su capacidad en 104.56 MMC debido al sedimento colmatado en el embalse, encontrándose la captación del túnel de descarga a 1.10m sobre la capa superior del sedimento, debido a la tasa de colmatación por año de 1.7 MMC (estimado por Salzgitter) que resultó totalmente baja.
2. El suelo que resultó de los ensayos es una arena pobremente graduada con arcilla (SP - SC), cumpliendo con el requisito de estar en el rango de las arenas, limos y arcillas para el diseño del sistema.
3. Las alternativas aplicadas para remover el sedimento depositado son de solución directa, Dragado y Sistema de Hidrosucción, que contribuyen a minimizar el proceso de colmatación en embalses. Cabe mencionar que éstas no son las únicas ya que existen otras diversas alternativas.
4. La aplicación del dragado en la Represa tiene un costo de 1.9 USD \$/m<sup>3</sup>, por lo tanto se considera una alternativa inviable, por ser tan costosa. De acuerdo a los cálculos realizados, la implementación del sistema de Hidrosucción permitiría mantener el volumen útil a bajo costo en comparación al dragado: la alternativa 01 de 0.014 USD \$/m<sup>3</sup> y la alternativa 02 de 0.012 USD \$/m<sup>3</sup>.

## 6.2. Recomendaciones

1. Las batimetrías en la represa Gallito Ciego, debe ser una exigencia como parte de la operación y mantenimiento, no solo por permitir el seguimiento de la evolución sedimentológica, sino porque deben constituir fuente importante de datos para las investigaciones de transporte de sedimentos de los ríos que las alimentan. Ya que son mejores dispositivos para estudios sedimentológicos.
2. Deben considerarse en las represas nuevas, sistemas de descolmatación desde su diseño (como es el caso de sistemas de Hidrosucción) o de estructuras que disminuyan el ingreso de grandes cantidades de sedimentos.
3. Capacitarnos con expertos internacionales, y/o consultar a los organismos especializados de la UNESCO (ICCORES), para la aplicación de estas alternativas para un mejor estudio, y compartir experiencias mundiales en aras de un mejor resultado.

## REFERENCIAS

- Carrión, R. L. (2004). *Análisis de los efectos del fenómeno el niño en el año 1998 en la presa Los Ejidos*. Universidad de Piura, Departamento de Ingeniería Civil. Piura, Perú: Universidad de Piura. Obtenido de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1185/ICI\\_108.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1185/ICI_108.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cobo, R. (diciembre de 2008). Los sedimentos de los embalses españoles. *Ingeniería del Agua*, XV(04), 231 - 241. Obtenido de <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/10739/II%20-%20V15N4.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Comisión Mundial de Represas. (2000). *Represas y Desarrollo. Un nuevo marco para la toma de decisiones*. Estados Unidos: Earthscan Publications Ltd. Obtenido de <http://www.ib.usp.br/limnologia/textos/REPRESAS%20Y%20DESAROLLO%20UN%20NUEVO%20MARCO%20PARA%20LA%20TOMA%20DE%20DECISIONES.pdf>
- Jahnsen, M. (2013). *Impacto de la represa gallito ciego en la pérdida de tierras de cultivo por salinización en la cuenca baja del río Jequetepeque 1980-2003*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Letras y Ciencias Humanas. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5125/JAHNS EN\\_CISNEROS\\_MICHELLE\\_IMPACTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5125/JAHNS EN_CISNEROS_MICHELLE_IMPACTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Merino, D. E. (2015). *Aplicación de la filosofía lean para la mejora de la productividad en la estructura: Reservorio elevado de la obra: Instalación, ampliación y mejoramiento del servicio de agua potable y alcantarillado en los AA.HH. de las cuencas 1,2 y 3*. Universidad Señor de Sipán, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo. Pimentel, Perú: Universidad Señor de Sipán. Obtenido de [http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/uss/2255/1/TESIS\\_DELIA%20MERINO.pdf](http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/uss/2255/1/TESIS_DELIA%20MERINO.pdf)
- Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI]. (2016). *Proyecto Especial Jequetepeque - Zaña PEJEZA*. Obtenido de Ministerio de Agricultura y Riego: [http://www.pejeza.gob.pe/marco\\_legal.php](http://www.pejeza.gob.pe/marco_legal.php)
- Moreno, V. M. (2012). *Optimización de la succión de sólidos sumergidos utilizando bombas centrífugas con velocidad variable*. Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Ingeniería Civil. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de [http://oa.upm.es/14391/1/Victor\\_Manuel\\_Moreno\\_Avalos.pdf](http://oa.upm.es/14391/1/Victor_Manuel_Moreno_Avalos.pdf)
- Quintana, J. A. (2006). *Análisis de la colmatación del Reservorio Poechos y propuestas de solución*. Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Piura, Perú: Universidad de Piura. Obtenido de [http://www.bibliocentral.udep.edu.pe/record=b1064908\\*spi](http://www.bibliocentral.udep.edu.pe/record=b1064908*spi)
- Ríos, N. (2013). *Estudio químico de sedimentos de la represa de Gallito Ciego como contribución al estudio de calidad ambiental del reservorio*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima, Perú:

Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4781/RIOS\\_PERALES\\_NATALIA\\_SEDIMENTOS\\_REPRESA\\_GALLITO\\_CIEGO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4781/RIOS_PERALES_NATALIA_SEDIMENTOS_REPRESA_GALLITO_CIEGO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Sánchez, E. A. (2014). *Análisis de métodos para la limpieza hidráulica de sedimentos desde embalses*. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2978/1/T-UCE-0011-132.pdf>