



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

ESTADO HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SEDIMENTOLÓGICO DE LOS EMBALSES EN LA REGIÓN PIURA

Juan Enríquez-Beck

Piura, febrero de 2016

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Civil

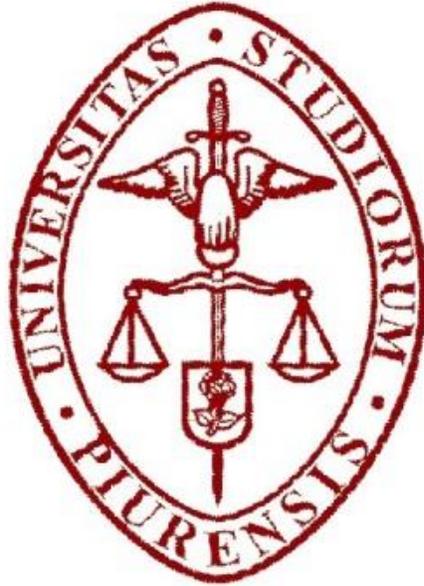
Enríquez, J. (2016). *Estado hidrológico, hidráulico y sedimentológico de los embalses en la Región Piura* (Tesis de pregrado en Ingeniería Civil). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una [licencia](#)
[Creative Commons Atribución-](#)
[NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](#)

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA



“Estado hidrológico, hidráulico y sedimentológico de los embalses en la Región Piura”

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

Juan Antonio Enríquez Beck

Asesor: Leo R. Guerrero Asmad

Piura, Febrero del 2016

*A Dios, a mis padres, a mis seres queridos
y a todos los que me ayudaron a llevar a cabo
esta investigación.*

Prólogo

La construcción de embalses tiene como principal finalidad el almacenamiento y la regulación de las aguas de un río para poder utilizarlas en riego, generación de energía hidroeléctrica, abastecimiento poblacional o uso industrial. La importancia del agua y la garantía de su disponibilidad para futuras generaciones despierta el interés por realizar estudios sobre las condiciones en las que se encuentran estos embalses, la calidad del agua que suministran y el tiempo de vida útil.

En el Perú tenemos 12 reservorios, según los informes técnicos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), los cuales aportan muchos beneficios sociales y económicos al país. Por ejemplo, en la zona norte se tiene a los reservorios Poechos, San Lorenzo, Tinajones y Gallito Ciego. La presente tesis estudiará los reservorios de Poechos y San Lorenzo enfocándose en la hidrología, hidráulica y sedimentología.

En la Región Piura, el reservorio Poechos genera muchos beneficios y su importancia es imprescindible para la región de Piura por haber garantizado el abastecimiento hídrico del Valle del Medio y Bajo Piura en la irrigación de 108 000 ha. Previo al reservorio solo se irrigaban 75 380 ha, con lo cual se aumentaron en 32 620 ha de irrigación. También permite la generación de energía por medio de centrales hidroeléctricas: Poechos I, Poechos II y Curumuy, siendo un total de 41 MW. Permite el control de avenidas de 5 400 m³/s, pero que en la actualidad su máxima descarga puede ser de 1 600 m³/s debido a la población establecida aguas abajo del reservorio.

Asimismo en la región Piura, el reservorio San Lorenzo pertenece a la infraestructura hidráulica de la Irrigación San Lorenzo, la cual se construyó entre 1949 y 1958. El reservorio con capacidad inicial para almacenar 258 MMC y una amplia red de más de 1 300 km de canales principales y secundarios permiten actualmente la irrigación de 35 mil ha, donde el mango y el limón ocupan la mayor área (14 mil y 8 mil ha, respectivamente). Además de estos productos, se siembra arroz, menestras, algodón, maíz, entre otros.

La evaluación de estos reservorios se enmarcan dentro de los objetivos del Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria (IHHS) de la Universidad de Piura, el cuál es, investigar el comportamiento de los embalses más importantes en el Perú. En este mismo marco

de investigación la presente tesis recopilará la data hidrológica, hidráulica y sedimentológica de los embalses en la región Piura: Poechos y San Lorenzo, con la finalidad de recoger experiencias de diseño, construcción y operación; y, luego con toda esta información, obtener un diseño de embalses óptimo y mejorar las reglas de operación de los ya existentes.

Quisiera manifestar un agradecimiento especial a mi asesor, el ingeniero Leo Guerrero Asmad, al ingeniero Miguel Arica Enriquez por su valiosa contribución al desarrollo de la presente tesis y al Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria (IHHS) por el respaldo en el desarrollo de la investigación.

Resumen

Los embalses tienen como finalidad el almacenamiento y la regulación de las aguas de un río para garantizar la disponibilidad del recurso hídrico. Su diseño, construcción y operación involucra varias disciplinas de la ingeniería, entre las cuales tenemos la hidrología, hidráulica y sedimentología.

Los objetivos de la presente tesis son: la recopilación de información en estas disciplinas en los embalses de la región Piura. Esto permitirá entender el comportamiento de los mismos y de las estructuras hidráulicas, con el fin de determinar un diseño de embalse óptimo para las realidades peruanas.

El presente trabajo permite obtener una visión clara de la situación real de ambos reservorios. El embalse Poechos viene sufriendo una sedimentación acelerada debido a que en su diseño inicial no se construyeron las suficientes compuertas para poder como evacuar los sedimentos. Esta situación se agudizó en los últimos fenómenos de El Niño (1983, 1998) ya que se registró un aumento en la carga anual promedio de sedimentos en más de diez veces la carga anual promedio. Y por otro el reservorio San Lorenzo con diferentes características sigue operando habiendo superado su vida útil.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1	3
Los embalses	3
1.1. Importancia de los embalses.....	4
1.2. Importancia de embalses en el Perú.....	5
1.3. Características y operación.....	9
1.3.1. Tamaño y forma del embalse	9
1.3.2. Ubicación del embalse	10
1.3.3. Niveles y volúmenes de operación	11
1.4. Evaluación económica y financiera de un proyecto: Los embalses	13
1.4.1. Aspecto general	13
1.4.2. Clasificación de los proyectos.....	13
1.4.3. Estudio para decidir inversiones.....	13
1.4.4. Beneficio de un proyecto	14
1.4.5. Costos de operación y mantenimiento	15
1.4.6. Caso aplicativo Reservorio La Peñita.....	16
Capítulo 2	19
Reservorio Poechos.....	19
2.1. Proyecto Especial Chira-Piura.....	19
2.2. Hidrología.....	23
2.2.1. Cuenca binacional Catamayo-Chira	23
2.2.2. División Hidrográfica	25
2.2.3. Información Hidrometereológica	31
2.3. Hidráulica.....	36
2.3.1. Reservorio Poechos.....	36
2.3.2. Estructuras de protección y seguridad	40
2.3.3. Presa.....	42
2.3.4. Bocatomas	43
2.4. Sedimentología	45
2.4.1. Batimetrías hasta el 2014	46

2.4.2.	Capacidad inicial y actual del embalse.....	51
2.4.3.	Curva granulométrica	52
2.4.4.	Curva capacidad del embalse vs. tiempo.....	53
2.4.5.	Curva cota vs. volumen	54
Reservorio San Lorenzo		57
3.1.	Infraestructura hidráulica de San Lorenzo.....	57
3.2.	Hidrología.....	63
3.2.1.	Cuenca	63
3.2.2.	Información Hidrometeorológica	63
3.3.	Hidráulica.....	69
3.3.1.	Reservorio de San Lorenzo.....	69
3.3.2.	Aliviadero de compuertas	71
3.3.3.	Presa San Lorenzo.....	72
3.3.4.	Bocatomas.....	74
3.3.5.	Sistema actual de operación.....	76
3.4.	Sedimentología.....	78
3.4.1.	Batimetría hasta el 2008	78
3.4.2.	Capacidad inicial y actual del embalse.....	82
3.4.3.	Curva granulométrica	83
3.4.4.	Curva capacidad vs tiempo	83
3.4.5.	Curva cota vs. volumen	84
Capítulo 4.....		87
Resumen de los reservorios Poechos y San Lorenzo		87
4.1	Tabla resumen entre Poechos y San Lorenzo	87
Recomendaciones.....		97
Bibliografía		99

Introducción

La presente tesis se enmarca dentro de los objetivos del Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria (IHHS) de la Universidad de Piura, el cuál es, investigar el comportamiento de los embalses más importantes en el Perú, con la finalidad de recoger experiencias de diseño, construcción y operación; y, luego con toda esta información, obtener un diseño de embalses óptimo y mejorar las reglas de operación de los ya existentes.

En el primer capítulo, se define un embalse, la importancia que estos tienen en el Perú y el mundo, así como su influencia en la economía peruana.

En el segundo y tercer capítulo se explican los reservorios de Poechos y San Lorenzo respectivamente, y se detallan los datos hidrológicos, hidráulicos y sedimentológicos de los embalses. Respecto a los datos hidrológicos se explica todo lo relacionado a la cuenca en cuanto a su extensión, a su estado actual, información hidrométrica, es decir que estaciones hidrométricas existen y su ubicación geográfica en la cuenca, si están operativas o cerradas y que es lo que miden. Respecto a los datos hidráulicos se mencionan las estructuras hidráulicas más importantes como la presa, los aliviaderos de compuerta y las bocatomas, que existen en el embalse para la operación en las épocas normales, en las de avenidas y en las avenidas extraordinarias; el caudal máximo, la cota máxima, cota mínima de operación, características como la altura de la presa, las reglas de operación, los materiales con lo cual fueron construidas y el estado actual de las estructuras. En cuanto a los datos sedimentológicos se presentan las curvas granulométricas, la capacidad inicial y actual del embalse, las curvas capacidad del embalse-Tiempo, las batimetrías realizadas en el embalse y las curvas cota vs. caudal.

En el cuarto capítulo se dará un enfoque analítico y comparativo de los embalses estudiados, de esta manera se podrán evaluar y estudiar los embalses mediante las variables hidrológicas, hidráulicas y sedimentológicas. Y para finalizar se desarrollarán las conclusiones y las recomendaciones de la tesis.

Capítulo 1

Los embalses

Un embalse es un cuerpo de agua artificial atrapado por una obra hidráulica, la presa, dentro del cual este líquido es almacenado para su futuro uso. Un embalse es una fuente de almacenamiento originado por grandes avenidas, tormentas y corrientes intermitentes con la finalidad de abastecer a aquellos campos que son abastecidos por causas de agua irregulares. Tiene la capacidad de almacenamiento durante periodos de sequía o sin irrigación. A veces su capacidad de retención es aprovechada para atrapar sedimentos y/o contaminantes en el flujo. Un embalse también es creado a partir de un lago ya existente incrementando su capacidad por medio de diques. En el Perú existe un reservorio con estas características, el Reservorio de Lagunillas, ubicado al sur del país. Sin embargo el caso más común es el de aquellos que se generan obstaculizando el curso de un río y obligando a este a albergarlo dentro de su cauce. En el Perú existen varios reservorios con estas condiciones entre ellos están el reservorio Poechos y San Lorenzo, los cuales serán materia de estudio en esta investigación. (Ordinola Enríquez, 2009)

Los embalses son cuerpos de agua intermedios entre ríos y lagos. El flujo de agua es más lento que los ríos y más rápido que los lagos, es semejante a un gran remanso del río. En otras palabras, es el volumen de agua que queda retenido por la presa. Esta acumulación de agua producida por la obstrucción del curso natural de un río lo describe la curva de remanso. Entonces, cuando se refiere a embalse, se trata específicamente del cuerpo de agua almacenado. (Fernández, 2008)

Y podemos concluir con una tercera definición, los embalses, o pantanos, como se les dice en España, son lagos artificiales, es decir, construidos por el hombre, con el fin de almacenar y regular las aguas de un río para poderlas utilizar en un proyecto de riego, de generación hidroeléctrica, de abastecimiento poblacional o industrial, o para otros fines como el control de avenidas. Eventualmente, los embalses tienen varios de estos usos y constituyen así embalses de propósito múltiple. Cumplen, pues, la función de efectuar el almacenamiento y la regulación temporal de las descargas naturales. (Rocha Felices, 2006)

1.1. Importancia de los embalses

Los embalses son obras hidráulicas que permiten la utilización del recurso hídrico, que a partir de su almacenamiento y asignación para los diferentes usos que se le puede dar: la agricultura, generación de energía eléctrica, agua potable para usos industriales y domésticos, control de avenidas, turismo y otros.

Un embalse es creado si existe una demanda para él, asumiendo que sus beneficios exceden sus costos y riesgos. En términos generales, según el libro Bureau of Reclamation, Diseño de presas pequeñas (2007), este tipo de obras hidráulicas están condicionados a una o más de las siguientes funciones que se detallaran a continuación:

- a. Irrigación:** el agua almacenada debe ser suficiente para regar eficientemente (considerando la escases ocasional tolerable) a un costo razonablemente económico por hectárea, tanto por lo que toca a la inversión de capital como al costo de operación, mantenimiento y reposiciones. La calidad del agua debe ser tal que no sea peligrosa para los cultivos o para los suelos. Si el sistema de distribución va a funcionar por gravedad, el vaso debe quedar lo suficientemente alto con relación a la superficie regada para que exista la carga hidráulica suficiente para obtener los gastos necesarios.
- b. Producción de energía:** cuando se incluye la generación de potencia, la capacidad del equipo generador y las demandas de carga están íntimamente relacionadas a la cantidad de agua disponible y a la magnitud del almacenamiento. La altura de las presas para obtener energía la dictan generalmente estos requisitos. Entonces podemos concluir que se requiere un suficiente nivel de almacenamiento para crear la máxima carga.
- c. Control de avenidas:** en el estudio y proyecto de las obras y estructuras para el control de avenidas deberán considerarse los siguientes factores:
 - La relación del costo del control a los beneficios obtenidos por la reducción de los daños acumulados, debe ser favorable en comparación con otros procedimientos con los que se obtengan beneficios semejantes, tomando en consideración el interés público.
 - El almacenamiento temporal debe ser suficiente para disminuir los gastos máximos o para disminuir la frecuencia de las avenidas menores.
 - Hasta donde sea posible, el método de control deberá ser automático en vez de manual.
 - Cualquier control de avenidas deberá ser efectivo. Una seguridad hipotética aguas abajo es más peligrosa que una ausencia absoluta de control.
- d. Aplicaciones domésticas y municipales:** la cantidad de agua debe ser la adecuada para satisfacer los requisitos. Son conceptos importantes la demanda presente y un sobrante para afrontar los aumentos previsibles en los consumos. La calidad del agua debe ser tal que se pueda potabilizar y utilizarse para uso doméstico y en la mayor parte de las aplicaciones industriales con métodos de tratamientos económicos.
- e. Usos industriales:** aunque la calidad del agua para servicios municipales es, por lo general, suficientemente buena para usos industriales, algunos procesos industriales

requieren normas más exigentes con respecto a que no deben contener sustancias químicas perjudiciales para los equipos o para los productos manufacturados.

- f. **Agua para el ganado:** la calidad del agua para el consumo del ganado debe servir para ese objeto. El estanque debe estar situado en un lugar que sea accesible al ganado ya sea directamente o por medio del uso económico de zanjas o tubos.

Muchas funciones en un mismo reservorio podrían tener demandas contradictorias. Es favorable que éstas estén comprometidas en cuanto a las temporadas en que se prevea la entrada o salida del flujo. Por ejemplo, la irrigación y control de inundaciones pueden ser combinadas si el reservorio es llenado para la irrigación durante los periodos secos para que después de ello provea la capacidad suficiente para regular el agua durante los periodos de grandes avenidas. (Ordinola Enríquez, 2009)

1.2. Importancia de embalses en el Perú

Para desarrollar este apartado se ha obtenido información del PECHP¹, de la JUSHAL², PEJEZA³, del Proyecto Especial Olmos Tinajones y de la página web de la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

En la zona Norte del Perú gracias a los embalses de Poechos, San Lorenzo, Tinajones y Gallito Ciego se benefician más de 270 000 ha con la irrigación de sus cultivos. Si se asume que esas hectáreas fueran solo de banano orgánico, en la cual por hectárea obtenemos una rentabilidad de \$3 000 dólares, se totaliza un ingreso de \$ 810 millones de dólares anuales. También se generan más de 176 MW de energía y el costo es de US\$ 0,04 kwh y con ello se totaliza un ingreso de más de \$60 millones anuales. Por ende es significativo el ingreso económico y desarrollo social que significan los embalses para la zona norte del Perú.

A continuación se muestran los embalses más importantes de la zona norte del Perú los cuales se muestran en la Figura 1 y 2.

¹ PECHP: Proyecto Especial Chira Piura

² JUSHAL: Junta de Usuarios del Sistema Hidráulico Menor San Lorenzo

³ PEJEZA: Proyecto Especial Jequetepeque Zaña



Figura 1. Ubicación de los reservorios San Lorenzo y Pochos
Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Recuperado de www.ana.gob.pe (2015)



Figura 2. Ubicación de los reservorios Tinajones y Gallito Ciego.
Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Recuperado de www.ana.gob.pe (2015)

Y a continuación se especificará la finalidad y los beneficios de los reservorios del Norte del Perú.

a. Reservorio Poechos

El reservorio de Poechos es la obra hidráulica con fines de irrigación más grande del Perú. Está construida en el cauce del río Chira, aproximadamente a 30 Km. de la ciudad de Sullana. Se construyó entre 1972 y 1976, iniciando operación ese mismo año.

Su objetivo principal es almacenar los excedentes de agua y regular anualmente los caudales del río Chira. Así, se pretende satisfacer la demanda de los valles de Chira y Piura con una alta probabilidad de que la operación sea segura y confiable.

La capacidad inicial del reservorio en la cota 103 m.s.n.m. era de 885 MMC⁴ y en la actualidad, según el PECHP, hasta diciembre del 2014, su capacidad es de 405,6 MMC.

El reservorio contribuye a muchos beneficios y entre ellos tenemos los siguientes:

- La irrigación de más de 108 000 ha, previo al reservorio solo se irrigaban 75 380 ha, con lo cual se aumentaron en 32 620 ha de irrigación.
- La generación de energía por medio de centrales hidroeléctricas: Poechos I, Poechos II y Curumuy siendo un total de 41 MW.
- El control de avenidas de 5 400 m³/s, en la actualidad su máxima descarga puede ser de 1 600 m³/s debido a la población establecida aguas abajo del reservorio.

b. Reservorio San Lorenzo

El reservorio de San Lorenzo también conocido como Represa de Los Cocos, está ubicada muy cerca del distrito de Las Lomas, provincia de Sullana, departamento de Piura. Esta presa embalsa las aguas del río Chipillico y las aguas trasvasadas del río Quiroz. Es la más antigua de las represas peruanas.

La infraestructura hidráulica de la Irrigación San Lorenzo se construyó entre 1949 y 1958, y en gran parte fue financiada con un préstamo del Banco Mundial. Comprendió obras civiles de gran envergadura: un reservorio con capacidad para almacenar 258 MMC, y una amplia red de más de 1 300 kilómetros de canales principales y secundarios, que permitieron en su inicio el riego regulado de más de 20 mil hectáreas (Autoridad Nacional del Agua, 2012). Según el Ingeniero Miguel Arica Enriquez, asistente de la sugerencia de operación mantenimiento y desarrollo de infraestructura hidráulica, en la actualidad el reservorio tiene una capacidad para almacenar 201 MMC y el máximo control de avenidas que se ha registrado en el reservorio, provenientes del río Chipillico ha sido de 550 m³/s.

El reservorio San Lorenzo es el proyecto de riego, que con mayor acierto ha practicado la diversificación de cultivos: actualmente son 35 000 ha bajo riego, donde el mango

⁴ MMC: Millones de metros cúbicos

y el limón ocupan la mayor área (14 mil y 8 mil Ha, respectivamente). Adicionalmente a estos cultivos se siembra arroz, menestras, algodón, palto, maíz, entre otros.

c. Reservorio Gallito Ciego

La presa ha sido construida sobre el cauce del río Jequetepeque, 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. Su de volumen útil de diseño según PEJEZA fue de 400 MMC. El ANA, en su página web, indica que el volumen útil actual, al año 2014, es de 372 MMC.

La Presa Gallito Ciego, fue construida de 1981 a 1988, es la obra principal del Proyecto Especial Jequetepeque-Zaña. Consiste en una presa de tierra zonificada de sección trapezoidal con sus estructuras de labores para la captación, aducción y salida regulada del agua, así como de un aliviadero para la evacuación de crecidas.

El reservorio Gallito Ciego contribuye a muchos beneficios y entre ellos tenemos los siguientes:

- La irrigación de 42 760 ha, de las cuales se mejoraron 36 000 ha y se incorporaron 6 700 ha de tierras eriazas a la agricultura de arroz, caña de azúcar y maíz.
- La generación de energía por medio de central hidroeléctrica a pie de presa, 40 MW.

d. Reservorio Tinajones

Se encuentra ubicado en el distrito de Chongoyape, a unos 47 kilómetros al noreste de la ciudad de Chiclayo, en el departamento de Lambayeque.

El objetivo del reservorio ha sido almacenar los excedentes de agua del sistema Chotano Chancay y luego lo distribuye al valle mediante el río Chancay y el Canal Taymi.

El reservorio constituye la infraestructura principal de la primera etapa, ubicada en un valle lateral del río Chancay, específicamente en los terrenos de la ex hacienda Tinajones, de donde proviene su denominación. La construcción fue ejecutada entre 1965 y 1968 y se diseñó con una capacidad de almacenamiento de 320 MMC. Y según la Autoridad Nacional del Agua su volumen útil actual al año 2014 es de 308 MMC.

El Reservorio Tinajones contribuye a muchos beneficios y entre ellos:

- La irrigación de más de 85 000 hectáreas de cultivos.
- La generación de una potencia de 95 MW y 600 GWh/año, a través de la central hidroeléctrica de Carhuaquero.

Previamente solo se han mencionado cuatro reservorios y su importancia. En la tabla 1 se detallan los reservorios más importantes en el Perú, expuestos en la página del ANA.

Tabla 1. Reservorios más importantes en el Perú

N	Nombre	Cuenca	Capacidad útil máxima en MMC
1	Lagunillas	Coata	500
2	Poechos	Chira	405,6
3	Gallito Ciego	Jequetepeque	372
4	Tinajones	Chancay-Lambayeque	308
5	Condoroma	Camaná	259
6	Pasto Grande	Tambo	185
7	San Lorenzo	Chira	171
8	El Fraile	Quilca-Vitor-Chili	127,2
9	El Pañe	Quilca-Vitor-Chili	99,6
10	Pillones	Quilca-Vitor-Chili	78,5
11	Aguada Blanca	Quilca-Vitor-Chili	30,4
12	Dique Los Españoles	Quilca-Vitor-Chili	9,09

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Recuperado de www.ana.gob.pe (2015)

1.3. Características y operación

La información de este apartado tiene referencia a la tesis *Simulación numérica tridimensional del comportamiento hidráulico del embalse limón – Proyecto Olmos*, realizada por el Ing. José Ordinola Enriquez en el año 2009.

1.3.1. Tamaño y forma del embalse

En cuanto al volumen de almacenamiento del embalse, es el vaso natural el que debe tener una adecuada capacidad, la que es definida principalmente por la topografía. Se busca obtener la mayor relación entre agua almacenada a volumen de presa, si es posible mayor que diez para pequeños proyectos.

Un reservorio con una relación capacidad/afluencia mayor al 50% puede ser considerado como hidrológicamente grande y tendrá una considerable capacidad de almacenamiento año tras año. Al tener una gran capacidad relativa de escurrimiento, estos reservorios alivian agua, y tienen oportunidad limitada para periódicamente vaciarlos con el propósito de dar algún manejo a los sedimentos ya que la pérdida de agua para ellos sería inaceptable. Sin embargo, cuando los grandes reservorios se llenan con sedimentos y su capacidad decrece, un amplio rango de técnicas de manejo de los mismos está disponible. Es entonces cuando entra a tallar la factibilidad económica de las mismas.

Desde el punto de vista del manejo de sedimentos el tamaño relativo, denominado tamaño hidrológico o relación entre capacidad y afluencia ($C: I$), es más importante que el tamaño absoluto y es calculado como la relación entre el volumen total del reservorio y el flujo anual promedio.

El tamaño hidrológico es un factor primario de influencia en la tasa de acumulación de sedimentos y por tanto es también determinante de los tipos de técnicas de manejo de

sedimentos que pueden ser usados. Los reservorios hidrológicamente pequeños tienen tiempos de residencia cortos y normalmente liberan una parte significativa de la corriente aguas abajo durante las avenidas. Esto hace posible el manipularlos de diversas maneras para que arrastren los sedimentos junto con esa parte de descarga anual que son capaces de liberar.

En cuanto al problema de sedimentación, en general se manejan dos planteamientos:

- El reservorio es tan grande, que tardará un buen periodo de tiempo en colmatarse. Por lo tanto, el valor económico del proyecto se mantendrá.
- El reservorio es diseñado relativamente pequeño y las compuertas relativamente grandes, por lo que es posible remover el sedimento regularmente por arrastre. Las compuertas se abren, bajando el nivel de agua del reservorio con lo que resulta un aumento en la velocidad de agua. La capacidad de transporte de sedimento se incrementa, causando erosión de los depósitos.

Un reservorio de tamaño medio será el menos beneficioso, puesto que tomara un periodo de tiempo relativamente corto en llenarse y solo una pequeña parte del material depositado será removido por arrastre. Este arrastre debe realizarse cuando el caudal entrante dentro del reservorio es relativamente alto. El agua erosionara los depósitos para generar una sección transversal similar al cauce normal del rio. Un embalse largo y estrecho será más efectivo a la limpieza mediante arrastre que uno corto y ancho.

1.3.2. Ubicación del embalse

Respecto a la hidráulica la estabilidad de los taludes del embalse debe ser analizada cuidadosamente, ya que a pesar de que al estar secos o totalmente sumergidos pueden no presentar problemas, estos pueden darse al enfrentar descensos en los niveles del agua y especialmente si son súbitos.

La geología del lugar debe analizarse desde el punto de vista de la filtración del lecho del embalse estudiando fallas, contactos y fisuras. Las filtraciones ocasionan no solamente pérdidas de agua, sino también ascenso del nivel freático dando lugar a cambios en las condiciones de los suelos adyacentes. Las mejores condiciones para un embalse las dan suelos arcillosos o suelos formados por rocas sanas, y las peores los suelos limo-arenosos. Si las filtraciones son muy grandes, es casi seguro que el vaso topográfico natural no es factible para el almacenamiento. Si resulta económico, se puede impermeabilizar el vaso.

Respecto a la hidrología los aportes de agua de la cuenca hidrográfica deben ser suficientes durante los periodos de lluvia para llenar el embalse y poder suplir la demanda durante épocas de sequía; en algunos casos será necesario incluso estudiar la posibilidad de trasvases.

Respecto a la sedimentología la hoya hidrográfica debe presentar poco síntomas de erosión. Y materias flotantes, arboles, y otros desechos pueden ser causa de problemas en el funcionamiento de las obras y el aprovechamiento del embalse.

El impacto ambiental y social tanto aguas arriba como aguas abajo debe considerarse y evaluarse.

Respecto al aspecto económico será necesario evaluar los terrenos a inundar. El costo de compra de los terrenos no debe ser excesivo. El área del embalse no debe tener en lo posible vías importantes ni edificaciones de relocalización costosa. La limpieza de la zona del embalse puede resultar costosa y debe considerarse a favor o en contra del proyecto. Y se busca que en la vecindad haya materiales para la construcción de la presa y obras anexas. Y finalmente la calidad del agua embalsada debe ser importante y debe ser satisfactoria para el uso proyectado.

1.3.3. Niveles y volúmenes de operación

Comúnmente se definen diversos niveles de agua en los embalses. El nivel normal de operación es determinado de la elevación de la cresta de un aliviadero sin compuertas o el nivel normal de diseño contra la compuerta de la cresta. Durante avenidas, el nivel de agua puede subir sobre el nivel normal de operación y este mayor nivel de diseño se denomina máximo nivel de agua. El mínimo nivel de operación se determina de los requerimientos de una toma en particular y es el mínimo nivel al cual la toma puede ser operada.

El volumen total de almacenamiento que se genera aguas arriba de una presa puede ser dividido en diversas zonas en base a la ubicación de las estructuras de alivio y a asignaciones operacionales. El volumen muerto por cota de derivación es el volumen que está debajo del nivel más bajo del alivio y no puede ser drenado por gravedad. El volumen vivo o vaciable es el volumen total bajo el nivel de operación normal menos el volumen muerto. En proyectos que incluyan el control de inundaciones, el volumen de inundación es la porción superior al espejo de agua dedicada para la detección de la inundación. El volumen activo o útil es aquel que puede ser manipulado para uso benéfico, pero excluyendo el volumen de inundación, es decir sobre el mínimo nivel de operación y bajo el nivel normal de operación. El volumen inactivo es la parte inferior del volumen de conservación que normalmente no es usado.

En la figura 3 se observa un esquema de definición de algunos de los elementos característicos de un embalse (sin sedimentos). Corresponde a la terminología oficial adoptada por la Comisión Internacional de Grandes Presas, ICOLD (International Commission on Large Dams). Sin embargo, es muy importante definir la terminología que se usa y que esta corresponda a conceptos muy claros. Al volumen reservado dentro del embalse, para la disposición de sedimentos lo llamaremos volumen muerto. Obsérvese que el volumen muerto está definido por la cota de captación, no corresponde al volumen muerto por sedimentación.

En la figura 4 se muestra la tendencia general del proceso de sedimentación aguas arriba de una presa. La figura corresponde a un instante cualquiera, pues el perfil del fondo es variable con el tiempo. El volumen previsto para el depósito de sedimentos (volumen muerto) no corresponde a un valor, que tenga significado físico, de la curva altura –

volúmenes del embalse. No debe confundirse con el volumen muerto por cota de derivación. Puede ocurrir que haya una notable disminución en el volumen útil y que el volumen muerto, por cota de derivación, permanezca en gran parte libre de sedimentos. Nótese como es que un mismo volumen de sedimentos puede depositarse en lugares diferentes del embalse, moverse dentro de él, y ocupar o no el volumen muerto por cota de derivación.

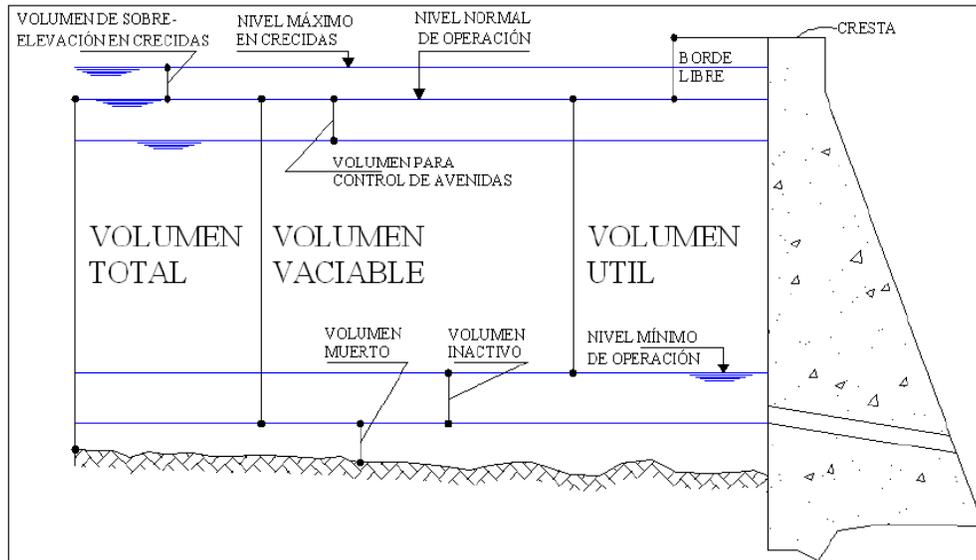


Figura 3. Definición de términos para un embalse según ICOLD
Fuente: Ordinola Enriquez (2009).

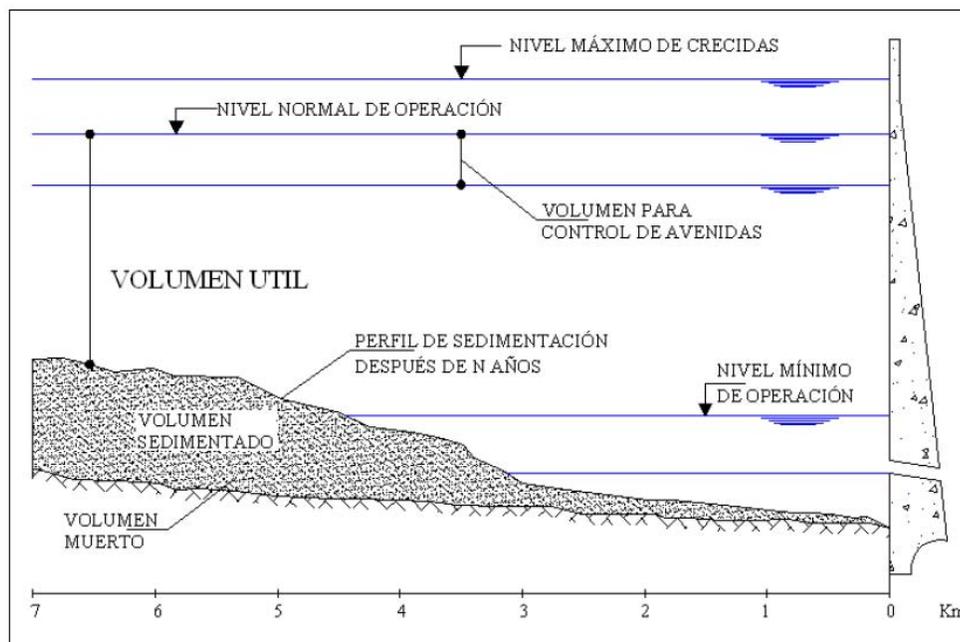


Figura 4. Significado de los términos para un embalse en proceso de sedimentación.
Fuente: Ordinola Enriquez (2009).

Previamente se han mencionado algunas características para el diseño de un embalse, y a continuación se considerará el aspecto costo-beneficio de un proyecto, para el cual se ha utilizado la bibliografía alcanzada por el Master Luis Suarez Carlo.

1.4. Evaluación económica y financiera de un proyecto: Los embalses

Para el desarrollo de este apartado se obtuvo la información del material preparado por Ing. Luis A. Suarez Carlo, *Evaluación económica y financiera de Proyectos Privados*, publicado por la Universidad de Piura (2011).

1.4.1. Aspecto general

Un proyecto de inversión tiene como objeto lograr en el futuro mayores beneficios de los que se obtienen actualmente con los recursos empleados.

1.4.2. Clasificación de los proyectos

La envergadura de los estudios a realizar depende del tipo de proyecto, de monto y riesgo de la inversión a ejecutar.

Es por ello que un proyecto como un reservorio lo podemos clasificar en **Proyectos de Riesgo** ya que comprende inversiones en nuevos proyectos que involucran una inversión mayor, tanto profesional como económica, y supone un determinado riesgo económico.

1.4.3. Estudio para decidir inversiones

- **Estudio Preliminar.**

Es el conjunto de informaciones y análisis de carácter eminentemente cualitativo que permitan decidir la asignación de recursos para la ejecución de estudios más detallados.

Aspectos cualitativos:

- a. Técnicos: si es viable desde el punto de vista de ingeniería.
- b. Legal: que el desarrollo del proyecto no se vea afectado con ningún problema de litigios, es decir que nada legal afecte la inversión.
- c. Social: que la construcción del reservorio sea un beneficio social, obteniendo un aprovechamiento del recurso hídrico y así poder irrigar los valles.
- d. Ambiental: que la construcción y operación del reservorio no impacte negativamente en el medio ambiente.

- **Estudio de Pre – Factibilidad**

Es el conjunto de análisis técnico – económica que deben hacerse para asegurar la existencia de por lo menos una alternativa factible para la realizar el proyecto.

- **Estudio de Factibilidad**

Es el conjunto de elementos de juicios necesarios para la ejecución del proyecto, su cancelación definitiva o su postergación. En este estudio hay que tener en cuenta los aspectos tributarios y el financiamiento.

1.4.4. Beneficio de un proyecto

La información de este apartado se obtuvo de la *Metodología para la formulación y evaluación socioeconómica de embalses y obras hidráulicas anexas con fines múltiples*, realizado en el 2013 por el Ministerio de Desarrollo Social del Gobierno de Chile.

Los beneficios directos corresponden al valor que tiene para el país ejecutar el proyecto, medido conceptualmente a través del aumento del consumo de los bienes y servicios producidos por el proyecto (por ejemplo productos agrícolas o industriales, agua potable, energía eléctrica, servicios turísticos o de defensa fluvial y control de crecidas, entre otros) y por la liberación de recursos de los insumos que el proyecto genera (por ejemplo ahorros de costos de extracción de agua por acuíferos y reposición de infraestructura urbana en proyectos de defensa fluvial y control de crecidas). (Ministerio de Desarrollo Social-Gobierno de Chile, 2013)

A continuación se explican los beneficios más importantes que se obtienen del proyecto de un reservorio:

a. Beneficios de riego

Un sistema de riego es básicamente un conjunto de obras destinadas a la captura, transporte, distribución y regulación de los recursos hídricos, desde su captación hasta los puntos de entrega, con el objetivo de aumentar la disponibilidad de los recursos, regular la temporada agrícola, aumentar la rentabilidad en el uso de los recursos hídricos, incorporar nuevas tierras a la producción agrícola y mejorar los ingresos de las que en la situación sin proyecto igualmente se riegan.

Así, a través de los proyectos se persigue dar garantías a los beneficiarios respecto de los siguientes aspectos: primero, que dispondrán del volumen de agua que necesitan y que esta disponibilidad será oportuna; segundo, que tendrán cierto grado de seguridad en la disponibilidad de agua, es decir, se garantiza un cierto grado de fiabilidad que el agua estará disponible durante el tiempo de sequía; y por último que se sabrá con anticipación al período de riego el agua que podrá ser captada.

b. Beneficios por generación eléctrica

El sistema de generación eléctrica según el ministerio de Desarrollo Social del Gobierno de Chile, comprende el conjunto de los recursos y elementos útiles para la generación o transformación, transporte y distribución de electricidad.

El tamaño de la central (y el embalse asociado) dependen de los requerimientos de energía y potencia que se desean obtener a partir del aprovechamiento del recurso hídrico. Para así, a través del proyecto de generación eléctrica se pueda garantizar la demanda requerida para los usuarios que serán beneficiados.

1.4.5. Costos de operación y mantenimiento

Los costos de operación y mantenimiento se registran durante la vida útil del proyecto y son los que permiten el buen funcionamiento del sistema; deberán estimarse considerando todos los costos correspondientes a los usos del agua cruda en proyectos de riego, generación eléctrica, agua potable, turismo, defensa fluvial y otros.

Los costos anuales de operación y mantenimiento son realizados para la distribución de agua desde el embalse hasta los usos y los gastos para las reparaciones de mantenimiento y de limpieza (personal operativo, energía, combustibles y labores de mantención como limpieza de canales, adquisición de repuestos y otros, operación de las presas, limpieza de estanques, entre otros), los que dependen de cada proyecto en particular.

a. Costos de inversión de un proyecto de riego

Los proyectos relacionados al riego comprenden inversión en infraestructura, costos de equipos y transferencia de tecnología, entre los más importantes. La infraestructura corresponde a las obras civiles y equipos, obras de conducción y distribución, reservorios, revestimiento de canales, equipos de bombeo, instalación de drenajes de los dispositivos de regulación de los flujos de agua, expropiaciones y otros. (Ministerio de Desarrollo Social-Gobierno de Chile, 2013)

b. Costos de inversión de un proyecto de generación eléctrica

Cuando el proyecto sustituye una planta existente, el beneficio está dado por los menores costos que el país dejará de incurrir para producir energía a partir de otras fuentes como la térmica o geotérmica. Esto es debido a la forma de funcionamiento del sistema interconectado.

La operación de la red interconectada implica que cuando la energía hidroeléctrica no es suficiente para satisfacer sus necesidades, se recurre a la energía térmica. (Ministerio de Desarrollo Social-Gobierno de Chile, 2013)

Los costos son atribuibles a los costos de inversión (construcción de infraestructura, canales, túneles o tuberías de aducción, salas de máquinas, equipos eléctricos o de energía mecánica de la turbina, generador, el transformador de potencia, control y restitución de obras de la subestación agua, patios y líneas eléctricas, obras complementarias: caminos, la gente, talleres, entre otros), y los costos de operación y mantenimiento de la planta hidroeléctrica.

A continuación se presenta un caso aplicativo de un proyecto, en el cual se detallará los costos y beneficios del mismo.

1.4.6. Caso aplicativo Reservoirio La Peñita

Para el desarrollo de este apartado se obtuvo información del informe *Construcción de presas reguladoras en la cuenca alta del río Piura, para el aprovechamiento de los recursos hídricos y protección de la cuenca media y baja ante inundaciones*, realizado por el Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria (IHHS) (2011).

Existen alternativas de solución para el aprovechamiento de los recursos hídricos y protección de la cuenca media y baja ante inundaciones, mediante la construcción de presas reguladoras en la cuenca alta del río Piura. La primera es una solución parcial que atiende el problema del riesgo en las estructuras así como el drenaje pluvial de Piura y Castilla, mientras que la segunda busca solucionar todo el conjunto de problemas con la regulación de volúmenes a lo largo de la cuenca, que permitan laminar las avenidas y regular el agua para irrigar.

De lo anterior se deduce que sería preferible lograr una solución integral a los problemas anteriormente expuestos. Para ello sería necesaria la implementación de vasos reguladores en la cuenca. Uno de ellos es el reservorio La Peñita, con un área de drenaje de 7 038 km² y con una capacidad de 260 MMC. A continuación se detallarán los costos y beneficios de este reservorio.

En la entrevista realizada al Director del IHHS, el Ing. Jorge Reyes, relata que tras las diversas experiencias en la construcción de embalses en la zona costera, se puede especificar en la región Piura, los costos aproximados para construir un embalse alrededor de \$0,3 - \$0,4/m³ de agua almacenada. Tiende a ser de menor costo el embalse cuando es de menor ancho, cuando la topografía permite que la altura de la presa no sea muy elevada y permita almacenar el agua que se requiere.

El proyecto del reservorio La Peñita ubicado en el lecho del río Piura tendría una capacidad de diseño de 260 MMC, por ende el costo del reservorio considerando un costo aproximado de \$0,35/m³ de agua almacenada, sería de \$91 millones de dólares. Un promedio de la cantidad de agua que necesita cada hectárea de cultivo son de 18 000 m³/ha y el costo del agua para empresas es de S/. 0,05/m³, por ende el costo es de irrigación total por hectárea es de S/. 900/ha y si fuera persona natural el costo del agua es S/. 0,02/m³, por ende el costo es de S/. 360/ha.

Entonces el agua que almacenará el reservorio La Peñita, 260 MMC, permitirá irrigar aproximadamente 14 445 ha. Uniformizando, si todos los cultivos a los cuales se les brindará el servicio de irrigación son de empresas, el beneficio sería de S/. 13 millones de Nuevos Soles. Si el reservorio tiene una vida útil de 50 años, teniendo en cuenta que el reservorio distribuye los 260 MMC en un año (lo cual esa cifra siempre es mayor) el beneficio total sería de S/. 650 millones de Nuevos Soles. Convertido esta cifra a dólares, con un cambio de 3,2, sería un total de \$ 200 millones de dólares. Los beneficios económicos sin adicionar los costos de mantenimiento y operación es de \$109 millones

de dólares aproximadamente, es decir más de \$2 millones de dólares anuales. Esto es únicamente cuando el reservorio tiene fines de irrigación, como lo es San Lorenzo. En caso de Poechos habría que sumar los beneficios económicos gracias a la producción de la energía eléctrica.

En la figura 5 se observa la ubicación del Reservorio La Peñita en el departamento de Piura.

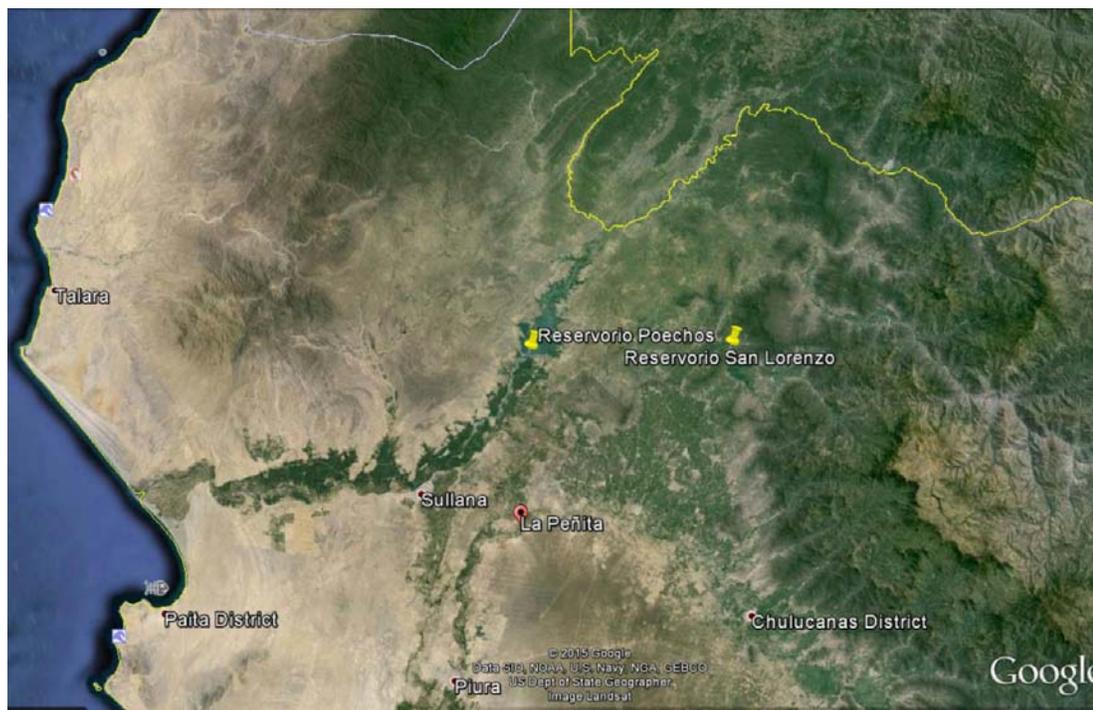


Figura 5. Ubicación del Reservorio La Peñita.

Fuente: Google Earth

Capítulo 2

Reservorio Poechos

En este capítulo se desarrollará el Reservorio Poechos, el cual se encuentra ubicado a 30 km. aguas arriba de la ciudad de Sullana. Se detallarán las disciplinas de la ingeniería, la hidrología, la hidráulica y sedimentología del embalse. Respecto a la hidrología se explicará todo lo relacionado a la cuenca en cuanto a su extensión, a su estado actual, que ríos pertenecen a la cuenca; la información hidrometeorológica, es decir las estaciones hidrométricas presentes en la cuenca, su ubicación geográfica, que es lo que miden, si están operativas o no y que entidad las opera. Respecto a los datos hidráulicos se mencionan las estructuras que existen en el embalse para la operación en las épocas normales, en las de avenidas y en las avenidas extraordinarias, como la presa, las bocatomas, los aliviaderos de emergencia y salidas de fondo, entre otras; y las características de las mismas como el caudal máximo que ha laminado el embalse, reglas de operación, material con el cual fue construido, su estado actual, la cota máxima y cota mínima de operación, el caudal que captan y el uso de las mismas. En cuanto a la disciplina de sedimentología se desarrollarán las curvas granulométricas de los ríos más importantes que aportan al reservorio, según la información obtenida, la capacidad inicial y actual del embalse, el desarrollo a lo largo del tiempo del embalse a través de las curvas capacidad del embalse vs. tiempo, curvas cota vs. caudal y las batimetrías más importantes realizadas al reservorio.

2.1. Proyecto Especial Chira-Piura

Para el desarrollo de este apartado se obtuvo información de la página web del Proyecto Especial Chira Piura.

El Proyecto Especial Chira Piura (PECHP), es un sistema de riego integrado mediante la unión hidráulica de las cuencas de los ríos Chira y Piura. Tiene a su cargo la inversión más importante en materia de irrigaciones en el país, con la tarea concreta de maximizar la explotación de los valles Chira y Piura, a través de su dotación de agua por gravedad para el riego oportuno y en cantidad suficiente, así como protegerlos contra inundaciones; buscando incrementar, tanto la productividad y producción agrícola, como la rentabilidad y competitividad agropecuaria y agroindustrial.

Antes del inicio de la construcción de las diferentes obras del PECHP, la cuenca de Piura esencialmente agrícola pasaba tiempos difíciles, los agricultores vivían esperanzados año tras año que las lluvias de la sierra de Piura, abastecieran al río Piura con el agua suficiente para sus cultivos.

Después de muchos proyectos, preparados por acuciosos agricultores, técnicos e ingenieros de la época, y después de muchos años se hace realidad la iniciativa de aprovechar los excedentes de agua del río Chira, que se perdían en el mar, para trasvasarlos por medio de un canal al río Piura e irrigar las sedientas tierras del valle del Medio y Bajo Piura.

En el año 1969, el Gobierno del General Juan Velasco Alvarado, declara prioritario y de interés nacional la ejecución del Proyecto. Y crea el 1 de Septiembre de 1970 la Dirección Ejecutiva del Proyecto Chira-Piura en el más alto nivel del sector público, para llevar adelante su ejecución.

Con el fin de mantener el abastecimiento de agua de riego regulada en los valles del Medio y Bajo Piura; así como realizar obras de drenaje para rehabilitar las tierras de cultivo, el Proyecto Especial Chira-Piura ejecutó la primera etapa. El objetivo de esta primera fase consistió en trasvasar el agua del río Chira al río Piura a través del Canal de Derivación Daniel Escobar, para atender las demandas requeridas para la explotación agropecuaria de 44 800 ha.

Los trabajos en esta primera etapa empezaron en el año 1972 y terminaron en 1979. Se desarrollaron diferentes obras entre ellas fueron las siguientes:

- Represa de Poechos
Con una capacidad de diseño para 1,000 MMC, y la capacidad en la cota de operación normal de 103 m.s.n.m. es de 885 MMC.
- Canal de derivación Daniel Escobar
Trasvasa agua del río Chira al río Piura y tiene una longitud de 54 km. y una de capacidad 70 m³/s.
- Canal Parales
Tiene una longitud de 8 km y una capacidad de 4.8 m³/s para irrigar 5 514 ha.
- Canal Paralelo Cieneguillo
Tiene una longitud de 7.8 km y una capacidad 6.2 m³/s para irrigar 5 422 ha.
- Construcción de 452 kilómetros de drenes troncales en el Bajo Piura.
- Incremento de 5 422 hectáreas de frontera agrícola. Establecimiento Agrícola de Cieneguillo.
- Construcción de 18 kilómetros de defensas contra inundaciones en puntos críticos del valle del Bajo Piura.

La Segunda Etapa se ejecutó con la finalidad de aumentar la producción y productividad de 30 000 ha agrícolas del Valle del Bajo Piura e incorporar 5 615 ha bajo riego. Las obras se iniciaron en enero de 1 980 y terminaron en 1 989 con la ejecución de los trabajos de reconstrucción de las obras dañadas por el Fenómeno El Niño 1983 (Proyecto Especial Chira-Piura, 2015). Las obras ejecutadas en esta etapa fueron:

- Presa Derivadora Los Ejidos
Capta las aguas provenientes de Poechos y del río Piura, derivándolas por el canal principal Biaggio Arbulú para irrigar el Valle del Bajo Piura y tiene una capacidad de 4,8 MMC.
- Canal Principal Biaggio Arbulú
Tiene una longitud de 56 km. desde Ejidos hasta Sechura (Chusis) y 60 m³/s de bocatoma.
- Construcción de 63 km. de diques de encauzamiento del río Piura, desde el puente Bolognesi en la ciudad de Piura hasta la Laguna Ramón.
- Rehabilitación de 7 980 Ha. de tierras afectadas con problemas de salinidad y drenaje.
- Obras de riego y drenaje a nivel parcelario.
- Construcción de 86 km. de canales secundarios y terciarios revestidos de concreto.
- Obras de reconstrucción Fenómeno El Niño 1983: Canal de Derivación Chira – Piura.
- Canal Principal del Bajo Piura, drenaje troncal del Bajo Piura, diques de encauzamiento del río Piura.
- Servicios de extensión agrícola y riego tecnificado.
- Estudios Definitivos de remodelación del Valle del Chira y Estudio de Factibilidad del Alto Piura.

La tercera etapa se ejecutó con la finalidad irrigar por gravedad 37,277.6 ha e incorporar a la agricultura 4,908.40 ha en el Valle del Chira; eliminando de esta manera el antiguo y costoso sistema de riego por bombeo. Las obras empezaron el 19 de agosto de 1988 con la ejecución del Canal Miguel Checa y fueron las siguientes:

- El Canal Miguel Checa
Este canal permite el desarrollo de aproximadamente 14 481 hectáreas.
- Presa Derivadora Sullana
Tiene una capacidad de 6 MMC.
- Canal Norte
Es revestido de concreto, de sección trapezoidal, para una capacidad variable de 25,5 m³/s a 3,80 m³/s y con una longitud de 39,20 km. Tiene como estructura más importante Sifón Chira de 687 metros para trasvasar 6,90 m³/s.
- Canal Sur Canal
Revestido de concreto de sección trapezoidal, para una capacidad variable de 7 m³/s a 0,55 m³/s y con una longitud de 25,75 km. Tiene como estructura más importante Sifón Sojo de 1 515 metros de longitud.
- Sistema de Drenaje
Comprende una red de drenes principales con una longitud de 52,69 km. para drenar las áreas agrícolas afectadas por salinidad en el Valle del Chira.
- Sistemas de Defensas contra inundaciones
Tiene una longitud de 57,03 km de diques de defensa y encauzamiento con sus respectivos espigones en ambas márgenes del río Chira. (Proyecto Especial Chira-Piura, 2015)

En la figura 6 se muestra el diagrama del sistema hidráulico del Proyecto Chira-Piura.

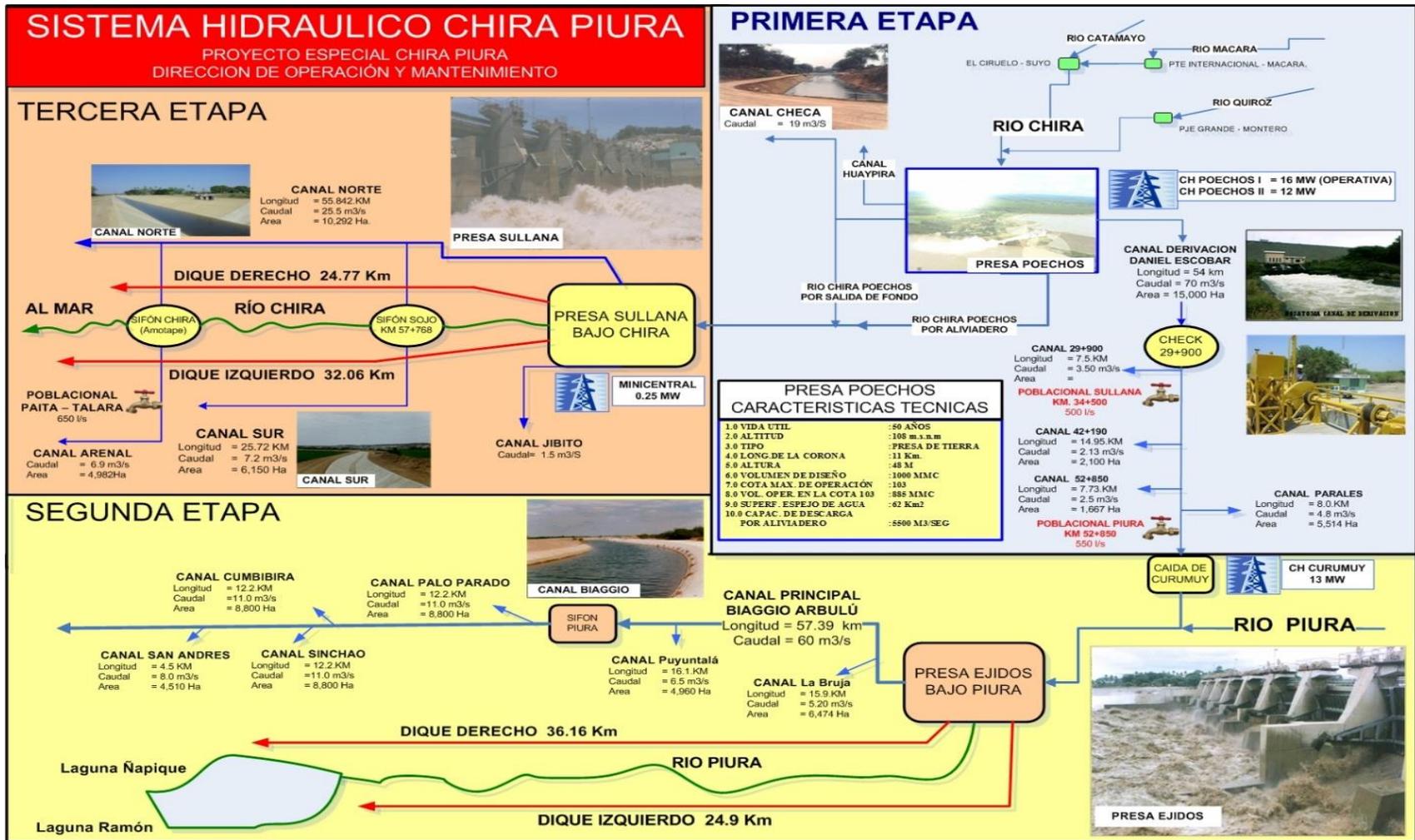


Figura 6. Esquema Hidráulico Proyecto Especial Chira-Piura.
Fuente: Proyecto Binacional Catamayo-Chira. (2005)

2.2. Hidrología

2.2.1. Cuenca binacional Catamayo-Chira.

Para el desarrollo de este apartado se obtuvo información del Informe Cuenca Binacional Catamayo-Chira *Caracterización Hídrica y Adecuación entre la Oferta y la Demanda Caracterización Territorial y Documentación Básica*, realizado por el Proyecto Binacional Catamayo-Chira (2005) y del *Diagnóstico de la Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca Chira-Piura Anexo 4*, realizado por el ANA (2012).

La cuenca hidrográfica binacional Catamayo-Chira, ocupa una superficie de 17 199,18 km², de los cuales 7 212,37 km² están en territorio ecuatoriano, los que corresponden aproximadamente al 66,82% de la superficie de la provincia de Loja y en él se encuentran los cantones de Célica, Pindal, Macará, Sozoranga, Calvas, Espíndola, Gonzanamá, Quilanga, y parte de los territorios de los cantones de Loja, Catamayo, Paltas, Olmedo, Puyango y Zapotillo. En territorio peruano, la cuenca, ocupa una superficie de 9 986,81 km² del departamento de Piura, en la que se encuentra la provincia de Sullana y parte de las provincias de Ayabaca, Huancabamba, Morropón, Paita, Talara y Piura.

La cuenca se sitúa entre las coordenadas 03°30' a 05°08' latitud sur y 79°10' a 81° 11' de longitud oeste. El rango altitudinal va desde el nivel del mar en la desembocadura del río Chira en el Océano Pacífico y la cota 3,700 m.s.n.m. Ver figura 7.

Límites hidrográficos:

- Por el Norte, limita con la cuenca del río Puyango – Tumbes.
- Por el Sur, limita con las cuencas de los ríos Piura y Huancabamba, situados en las provincias del mismo nombre.
- Por el Este, limita con las cuencas de Macará y Chinchipe en Ecuador.
- Por el Oeste, con el Océano Pacífico. (Proyecto Binacional Catamayo-Chira, 2005)

El río Chira tiene sus orígenes en la unión del río Catamayo con el río Macará, en la frontera entre Perú y Ecuador; recorre 50 km. entre ambos países hasta la quebrada de Alamor donde ingresa en territorio peruano. La longitud total del río Catamayo-Chira, eje principal de la cuenca binacional Catamayo –Chira, hasta su desembocadura en el Océano Pacífico es de 315 Km., de los cuales 119 Km. se encuentran en suelo peruano (Autoridad Nacional del Agua, 2012).

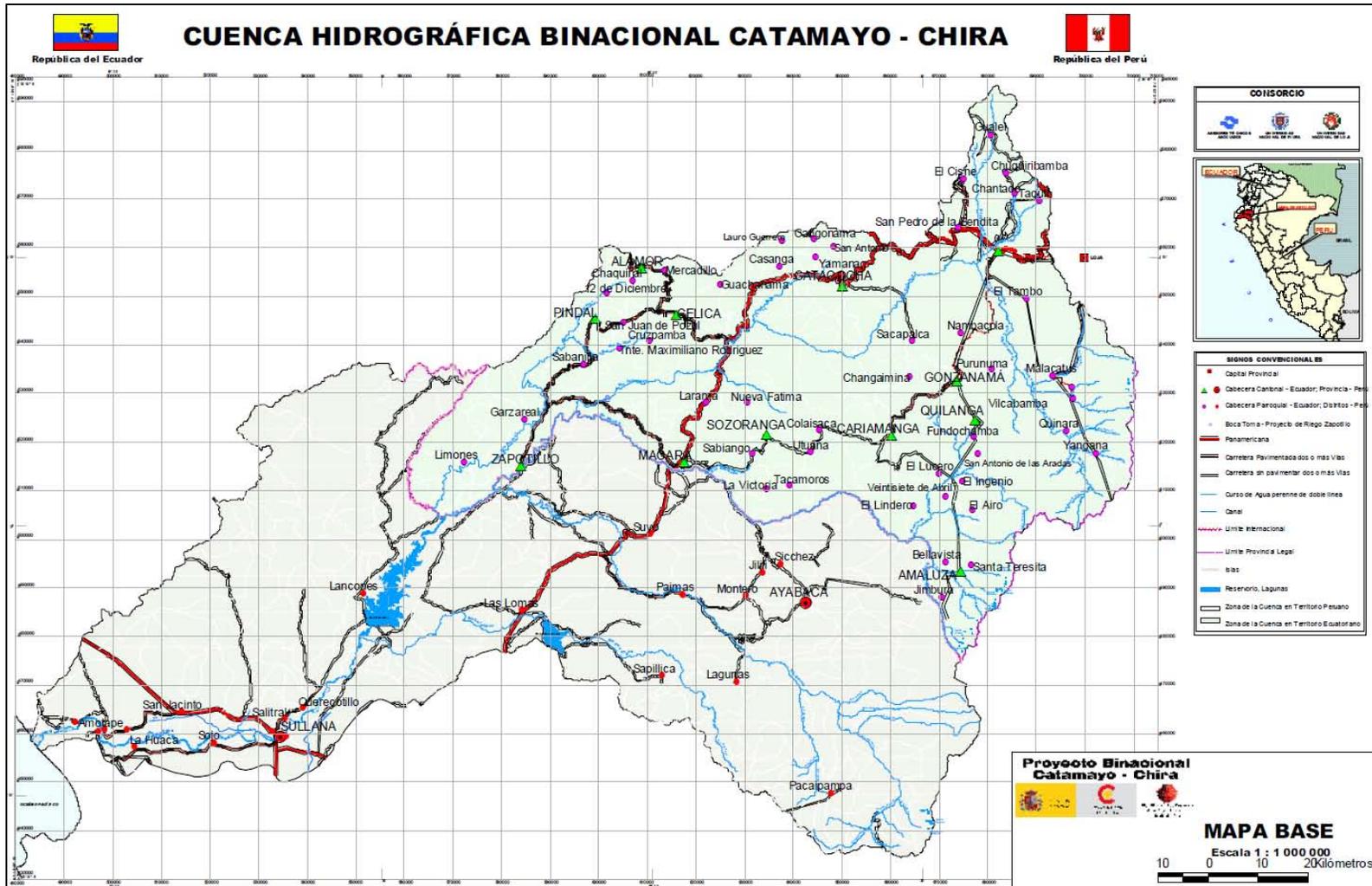


Figura 7. Cuenca Hidrográfica Binacional Catamayo-Chira
Fuente: Proyecto Binacional Catamayo-Chira. (2005)

En la zona peruana de esta cuenca hay que tener en cuenta importantes interdependencias:

- La subcuenca del río Chipillico y el trasvase parcial del Quiroz hacia el Reservorio San Lorenzo atienden, mediante el canal Yuscay y los canales que nacen desde la estructura denominada “Partidor” (Tablazo, Tambogrande, Tejedores y TJ-05), a zonas agrícolas ubicadas tanto en las áreas de la cuenca del Chira como Piura.
- El canal de derivación del río Chira al río Piura (Canal Daniel Escobar) ha permitido incorporar la zona agrícola de Cieneguillo, la cual en términos de ubicación se encuentra compartiendo las cuencas del Chira y del Piura.
- Las delimitaciones políticas de provincias y distritos no están íntegramente circunscritas dentro de la cuenca del Chira, encontrándose provincias como las de Piura y Talara y distritos como el de Frías en las dos cuencas.
- La cuenca del Chira se relaciona directamente con las partes Media y Baja de la cuenca del río Piura a la que aporta un importante caudal. En la cuenca del río Piura el canal Biaggio Arbulú deriva y distribuye el agua al Bajo Piura. (Autoridad Nacional del Agua, 2012)

Las condiciones climáticas definen dos periodos claramente diferenciados, uno cálido y húmedo y otro seco; esto influye decisivamente en el uso de los suelos. Una gran parte se utiliza con cultivos de temporal; el uso agrícola es más intensivo en el área de valles por su proximidad a las corrientes fluviales, lo que ha permitido establecer algún sistema de riego tradicional y rudimentario. (Autoridad Nacional del Agua, 2012)

Las cuencas de los ríos Chira y Piura cruzan el desierto costero como 2 franjas relativamente angostas, los ríos que llevan su mismo nombre son de corto recorrido y de carácter torrencial, nacen en las faldas Occidentales de los Andes, son de cauces mayormente estrechos y de pronunciadas pendientes. El régimen de descarga natural del río Piura es estacional, los caudales máximos ocurren en los meses de Enero a Abril y las mínimas el resto del año, llegando incluso a secarse, mientras que el río Chira tiene un régimen de descarga permanente. (Autoridad Nacional del Agua, 2012)

2.2.2.División Hidrográfica

El colector principal de la cuenca en estudio está conformado por el río Catamayo, llamado así en la parte ecuatoriana y Chira en la parte peruana. Este colector receptor de las aguas de todo el sistema de drenaje, recibe aguas de seis afluentes de importancia, que originan las siguientes subcuencas principales:

- La subcuenca del río Catamayo
- La subcuenca del río Alamor (de carácter binacional)
- La subcuenca del río Macará (de carácter binacional)
- La subcuenca del río Quiroz
- La subcuenca del río Chipillico
- El sistema Chira.

A continuación se describirá cada una de las subcuencas, de la cuenca Chira:

- La subcuenca del río Catamayo

El río Catamayo toma este nombre a partir de la unión de dos importantes afluentes:

- a. El río Guayabal, conformado por los ríos Gualiel y el Ari por un lado y por otro el río Trapichillo, que nacen en la parte norte de la Cuenca en la cordillera de Fierrouroco, con altitud máxima de 3 754 m.s.n.m.
- b. El río Chinguilamaca, que aguas arriba se llama Piscobamba, conformado de los aportes de los ríos Chota, Vilcabamba, Masanamaca, Palmira que se forma de los aportes de los ríos de la Tuna y otros que nacen en altitudes de 3 673 m.s.n.m. y constituyen los orígenes de la cuenca del río Catamayo Chira.

La configuración topográfica accidentada presenta la conformación de un valle de importancia como es el Valle de Catamayo, en el cual se desarrollan importantes actividades agrícolas.

Aguas abajo y después de las poblaciones de Catamayo, en la margen derecha este río principal recibe la aportación de otros importantes ríos como el río Playas, cuyo nacimiento parte de alturas de 2 148 m.s.n.m. y dan lugar a esta subcuenca, considerada importante por su extensión y condiciones estratégicas y geográficas. Más abajo y en la misma margen hay aportaciones de importantes quebradas: Quiara, Artones, entre otras.

En la margen izquierda, desde la parte alta hasta su desembocadura en el río Chira, los afluentes principales son: las Quebradas, El Salado, Chinchanga, el río Tangula y la quebrada Matadero.

El río Catamayo termina cuando se une con el río Macará y conforma el río Chira a una altura de 284 m.s.n.m.

La subcuenca del río Catamayo abarca una superficie de 418 402,66 ha que representan el 24,33% del área total de la Cuenca del río Catamayo-Chira y se ubican íntegramente en la parte ecuatoriana. (Proyecto Binacional Catamayo-Chira, 2005)

- La subcuenca del río Alamor

El colector principal de la subcuenca del río Alamor nace a una altura máxima de 2 586 m.s.n.m., de donde nacen las quebradas de Landa, Higuierillas y otras, que dan lugar al río Alamor que, aguas abajo en la margen izquierda, es alimentado de otras quebradas y del río Quillusara. Más abajo confluyen las Quebradas Satiagilat, la Sabanilla Grande, la Garza Huachana, La Manga, Caray, del Algodón, Novillos, Camarones, Cañaverál, Yapatera y Pilares en la margen derecha. Los aportes de la

parte media y baja, no son significativos o no existen por el esquema topográfico existente en la zona.

Finalmente el río Alamor desemboca en el río Chira, a una altura de 135 m.s.n.m. y realiza aportes hídricos al embalse de Poechos.

La subcuenca del río Alamor comprende un área de 119 027,27 ha, que significa el 6,92% del área de la Cuenca. (Proyecto Binacional Catamayo-Chira, 2005)

- La subcuenca del río Macará

El río Macará, principal colector de la red de drenaje de la subcuenca del mismo nombre, es un río binacional (ecuatoriano/peruano) que tiene su nacimiento en la Cordillera Oriental de los Andes, alrededor de las Lagunas Negras, a la altura de 3 884 m.s.n.m. y está conformado por los ríos Chiriyacu (que aguas abajo se llama río Pindo) y el río Espíndola que recibe los aportes del río Amaluza, alimentado a su vez por el río Sanambay.

Aguas abajo, el río Macará recibe los aportes de las quebradas Sanamaca, Laurel, Pugllo, Angashcola, Linderos, el río Sabiango, las quebradas Jorupe, Mandala, Guatara y Laguar en la margen derecha que corresponde a la parte ecuatoriana, mientras que en la margen izquierda correspondiente a la parte peruana, recibe la alimentación de las quebradas de Cabeza de Vaca, Analques, Guachapelí, Cachaco, Ceibal, La Raya, Carrizal, La Villa y otras.

En la parte alta de esta subcuenca, existen importantes sistemas lacustres:

- a. En el río Amaluza con las lagunas de Los Huicundos, Arrebatadas, Churiragua, Yacuri.
- b. En el río Espíndola con las lagunas Negras y de los Patos.

Abarca una superficie de 283 328,98 ha que representan el 16,47% del área de la cuenca Catamayo Chira. (Proyecto Binacional Catamayo-Chira, 2005)

- La subcuenca del río Quiroz

El río Quiroz pertenece al sistema hidrográfico del río Chira y tiene sus orígenes en las alturas de los Cerros Misal, Muchcapán y Viejos, sobre los 4000 m.s.n.m. Nace con el nombre de río Shiantaco; posteriormente adopta los nombres de Palo Blanco, San Pablo, Santa Rosa y, a partir de su confluencia con el río Tulmán, toma el nombre de río Quiroz. Sus afluentes principales son: por la margen derecha, los ríos Aranza, Paruchaca y las quebradas de Montero y Suyo; y por la margen izquierda, el río Tulmán y la quebrada Huanta. Sus cursos de agua son alimentados por las precipitaciones que caen sobre las laderas occidentales de la Cordillera de los Andes. (Paulini Palacios, 2005)

El río Quiroz, principal colector de la subcuenca Quiroz, se origina en el sector de las Lagunas Canovitas y Negras de donde nace el río Llaga que se une con el río Palo Blanco (alimentado por los ríos Shiantac y Chulucanas). Aguas abajo el río Palo Blanco se denomina San Pablo y recibe los aportes de los ríos Aranza, Tomayacu, Ramos y luego se une con el río Tulman y a partir de esta unión el río toma la denominación de Quiroz. (Proyecto Binacional Catamayo-Chira, 2005)

Más abajo, el río Quiroz, tiene afluentes de importancia como las quebradas de Matala, de Agua, Los Molinos, de Perro Ahorcado, Rinconada, Carrizo, El Almendro, Suyo, Huásimo y otras en la margen derecha, mientras que en la margen izquierda están entre otras las siguientes quebradas: Hierbabuena, Jacapa, Carrizo, Zamba, Guir Guir, Cabuyal, La Masas, Higuierón, La Gaucha, Jaguar Seco, de Locas/Gallinesitos y otras. El río Quiroz desemboca finalmente en el río Chira y aporta a la alimentación del embalse de Poechos. Es una subcuenca que se encuentra íntegramente en la parte peruana de la Cuenca. (Proyecto Binacional Catamayo-Chira, 2005)

Abarca una superficie de 310 876,59 Ha. que significan el 18,08% del área total de la Cuenca. (Proyecto Binacional Catamayo-Chira, 2005)

La red hidrográfica perteneciente al río Quiroz, es controlada en su cauce principal mediante las estaciones de aforo Toma Zamba y Paraje Grande.

La cuenca del río Quiroz cuenta con un área de drenaje total de 3100 km², hasta su desembocadura en el río Chira, y una longitud máxima de recorrido de 165 km. Presenta, debido a sus características topográfica, una pendiente promedio de 2.3%. La cuenca total tiene la forma de un cuerpo alargado que se estrecha a medida que el río se acerca al cauce principal de río Chira. Sus límites corresponden a las líneas de cumbres que la separan de las cuencas de los ríos Macará, por el Norte, y Piura, por el Sur. Los límites de sus lados menores son: por el Este, con las cuencas de los ríos Chichipe y Huancabamba y, por el Oeste, con la cuenca del río Chipillico. (Paulini Palacios, 2005)

El aprovechamiento hidráulico más importante, desde el punto de vista hidrológico, es la derivación del río Quiroz hacia la irrigación de San Lorenzo, por medio del Canal Quiroz. La captación se ubica en las proximidades de su confluencia con la quebrada de Zamba. Este sistema de derivación se encuentra en operación desde 1954 y tiene una capacidad máxima de 61,8 m³/s. (Paulini Palacios, 2005)

- La subcuenca del río Chipillico

El río Chipillico, que origina la subcuenca del mismo nombre, tiene su nacimiento sobre los 3 200 m.s.n.m., en la parte alta con el río San Pedro que posteriormente toma el nombre de río Yangas, que es alimentado a su vez por el río Sapillica. El Chipillico aporta significativamente al reservorio de San Lorenzo conjuntamente con la quebrada Cerezal que a su vez es alimentada por las quebradas Guayabo y Pariamarca.

Aguas abajo el río Chipillico es alimentado por las quebradas de Serranos, El Convento, Jaguar de Pavas, de Galiones, de Pichones, del Tamarindo, Zapayal en la margen derecha en tanto en la margen izquierda después del reservorio hay aportes de las quebradas como la Buitrera, La Hamaca, Peña Viva, Carvajal y otras de importancia, llegando al río Chira en la sección de 88 m.s.n.m. Cubre una extensión de 117 092,09 Ha. que alcanzan el 6,81% del área de la Cuenca. (Proyecto Binacional Catamayo-Chira, 2005)

- El sistema del río Chira

Para fines del presente estudio se denomina sistema Chira al sistema hidrográfico que a partir de la unión de los ríos Macará y Catamayo toma el nombre de río Chira, punto desde el cual este sistema tiene el carácter de binacional hasta el sitio Lalamor, donde se interna en territorio peruano. Está conformado por todos los afluentes que drenan al río Chira (márgenes izquierda y derecha). El sistema así indicado abarca una superficie de 471 189,79 ha que significa el 27,39% del área de la cuenca.

Los afluentes principales del río Catamayo-Chira en territorio peruano dan lugar a subcuencas de importancia en extensión, identificadas en la margen derecha en este estudio, son los siguientes:

- a. La Solana que es la más grande con 123 197 ha. (7,16% del área de la cuenca).
- b. La Samán con 88 638 ha. (5,15%).
- c. La Manuela con 16 717 ha. (0,97%).
- d. Sangorita con 11 889 ha. (0,6%).
- e. Quebrada del Billar con 3 277 ha. (0,19%).
- f. Monte Limo con 20 767 ha. (1,2%).

En la margen izquierda son, en sentido norte/sur desde el río Macará hasta el río Chipillico, las subcuencas son las siguientes:

- a. Las Lajas con 4 737 ha. (0,3%).
- b. Cardo con 1 914 ha.
- c. Remolinos con 17 652 ha. (0,10%)
- d. La Noria con 1 584 ha.
- e. Masa con 14 417 ha. (0,8%)
- f. Y otras de menor importancia como las subcuencas de los ríos Camarones, del Gallo, Algarrobillo, Huasimal, Peñitas, Perdidos, del Jaguar, Cerro Negro, Pilares, Montecillo.

En esta misma margen, desde el tramo del río Chipillico hasta la desembocadura del río Catamayo Chira en el Océano Pacífico, se identificaron las siguientes microcuencas: Letera con 4 811 ha (0,27%), Cieneguillo con 9 635 ha (0,56%), La Soledad con 2 854 ha y otras de menor importancia.

Dentro de este sistema se consideran también todas las áreas interfluviales, es decir aquellas que por su topografía y pendiente drenan directamente al río Chira independiente de sus sistemas hidrográficos grandes o pequeños, que abarcan 14 404 ha.

También se incluyen algunas áreas de drenaje de las microcuencas cuyos nombres no ha sido posible identificar, que suman 39 733 ha. (Proyecto Binacional Catamayo-Chira, 2005)

En la tabla 3 se observa las subcuencas aportantes al reservorio Poechos y en la figura 8 el mapa de las subcuencas.

Tabla 3. Subcuencas aportantes al reservorio Poechos

SUBCUENCAS DE LA CUENCA CHIRA-CATAMAYO				SUBCUENCAS APORTANTES DEL RESERVORIO POECHOS	
N	NOMBRE	AREA(km ²)	%	AREA(km ²)	%
1	Subcuenca Alamor	1 190,27	6,92	1 190,27	8,76
2	S. Catamayo	4 184,03	24,33	4 184,03	30,80
3	S. Chipillico	1 170,93	6,81		0,00
4	Subcuenca Macará	2 833,29	16,47	2 833,29	20,86
5	Subcuenca Quiroz	3 108,77	18,08	3 108,77	22,89
6	Sistema Chira	4 711,90	27,40	2 266,64	16,69
TOTAL		17 199,18	100,00	13 583,00	100,00

Fuente: Proyecto Binacional Catamayo-Chira (2005).

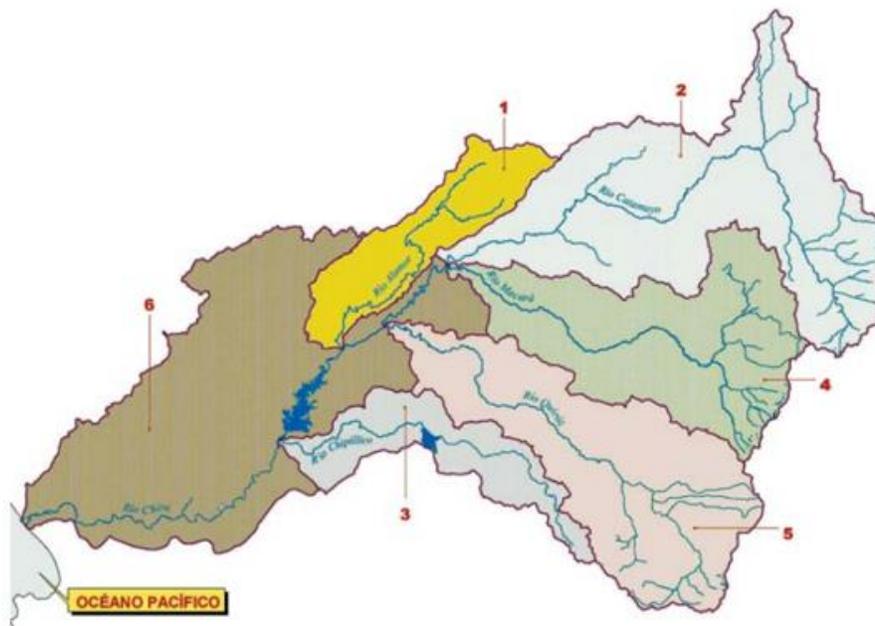


Figura 8. Mapa de las Subcuencas.
Fuente: Proyecto Binacional Catamayo-Chira. (2005)

2.2.3. Información Hidrometeorológica

La información de este apartado fue obtenida de la página web del SENAMHI (2015) y de la *Caracterización Hídrica y Adecuación entre la Oferta la Demanda Caracterización Territorial y Documentación Básica*, realizado por el Proyecto Binacional Catamayo-Chira (2005).

La Red Hidrográfica del río Chira, está conformada por varios ríos que convergen para formar el río Chira, las aguas del río Alamor, Macará, Quiroz y Catamayo (el cual es el río Chira en el Ecuador). A lo largo de su recorrido y desde el año 1972 el PECHP ha construido estructuras de medición para la evaluación del recurso hídrico cuya información generada vienen sirviendo como un soporte informático y utilizado en diferentes estudios relacionados con el Recursos Hídricos. Asimismo, la información generada en tiempo real, constituye una herramienta principal para la operación del reservorio de Poechos, cualquiera que sea la característica del año hidrológico.

Debido al mantenimiento anual que se ejecuta en dichas estructuras, vienen operando satisfactoriamente y su operación la tienen a cargo un técnico aforador, que realiza aforos, lecturas horarias, llena formatos de registro horario, cambia bandas limnigráficas e informa diario y horario la situación hidrológica del río en dicho sector.

Cada estación de medición de niveles de agua cuenta con lo siguiente:

- Infraestructura limnigráfica constituida por la caseta y tubo de fierro.
- Equipo registrador (limnigrafo Steveen) de bandas de papel especial.
- Batería de miras de fierro o pintadas en la estructura para lecturas de nivel de agua.
- Sistema de comunicación con radios HF⁵ antenas y batería para generar energía.
- Módulo de material noble que sirve como vivienda – oficina.
- Un equipo (pluviómetro) para medir las precipitaciones pluviales.

Y a continuación en la tabla 4 se detallan las estaciones que tiene a cargo el PECHP, aquellas que no están operativas y se encuentran en la cuenca del río Chira:

⁵ HF: Ondas Radioeléctricas de alta frecuencia con un ancho de banda de 3 Mhz a 30 Mhz.

Tabla 4. Estaciones Hidrometeorológicas en la cuenca Chira.

N	Estación	Ubicación Geográfica		Cuenca	Coord. Geograf.		Altitud m.s.n.m	Categoría	Entidad que opera	Estado
		Provin.	Distr.		Latitud	Longit.				
1	Ardilla	Sullana	Lancones	Chira	04°31'	80°26'	150	H-PLU- PG	PECHP	Operativa
2	Ciruelo	Ayabaca	Suyo	Chira	04°16'06''	80°09' 11''	250	H-PLU- PG	PECHP	Operativa
3	Paraje Grande	Ayabaca	Paimas	Chira	04°37'	79°54'	555	H-PLU	PECHP	Operativa
4	Puente Internacional	Ayabaca	Macará-Suyo	Chira	04°23'19''	79°57' 43''	408	H-PLU	PECHP	Operativa
5	Alamor	Sullana	Lancones	Chira	04°28' 48,41''	80°23' 56,9''	133	PLU	SENAM HI	Operativa
6	Los Encuentros	Sullana	Lancones	Chira	04°26'1''	80°17'1''	150	H	SENAM HI	Cerrada
7	Jilili	Ayabaca	Jilili	Chira	04°35'1''	79°48'1''	1236	PLU	SENAM HI	Cerrada
8	Sicchez	Ayabaca	Sicchez	Chira	04°34'	79°46'	1292	PLU	SENAM HI	Cerrada
9	Aul(C. Membrillo)	Ayabaca	Ayabaca	Chira	04°33'	79°42'	2450	PLU	SENAM HI	Cerrada
10	Vado Grande	Ayabaca	Ayabaca	Chira	04°27'37''	79°36'23''	1006	PLU	SENAM HI	Cerrada
11	Huara de Veras	Ayabaca	Ayabaca	Chira	04°35'1''	79°34'1''	1243	PLU	SENAM HI	Cerrada
12	Espindola	Ayabaca	Ayabaca	Chira	04°38'1''	79°30'1''	1900	PLU	SENAM HI	Cerrada

Fuente. Proyecto Especial Chira Piura (2015) y Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2015).

- Toma de la información: La red hidrometeorológica en la Cuenca De las 12 estaciones meteorológicas, 7 están cerradas. Y las 5 estaciones hidrométricas del Perú están en buen estado de operación, cuatro de ellas las tiene a cargo el PECHP.
- Acceso a la información hidrometeorológica
Una limitación en el acceso es el costo que le asignan a la información hidrometeorológica, la institución SENAMHI en el Perú, encargada de recolectarla y procesarla.
- Calidad de la información hidrometeorológica
Debido al elevado número de elementos y factores para la recolección de la información hidrometeorológica, como son: ubicación de las estaciones, instrumentos muy diversos, condiciones climáticas, nivel educacional del observador, métodos de transmisión, modos de registro que pueden ser en papel, cintas, diskettes, láminas y otras formas, es muy fácil que un determinado dato pierda precisión.

En la figura 9 se muestra el mapa del Perú, en el cual se señala la ubicación del reservorio. Y en la figura 10 se muestra la ubicación geográfica de las estaciones hidrometeorológicas operativas. Y en la figura 11 se muestra la ubicación geográfica de las estaciones hidrometeorológicas cerradas

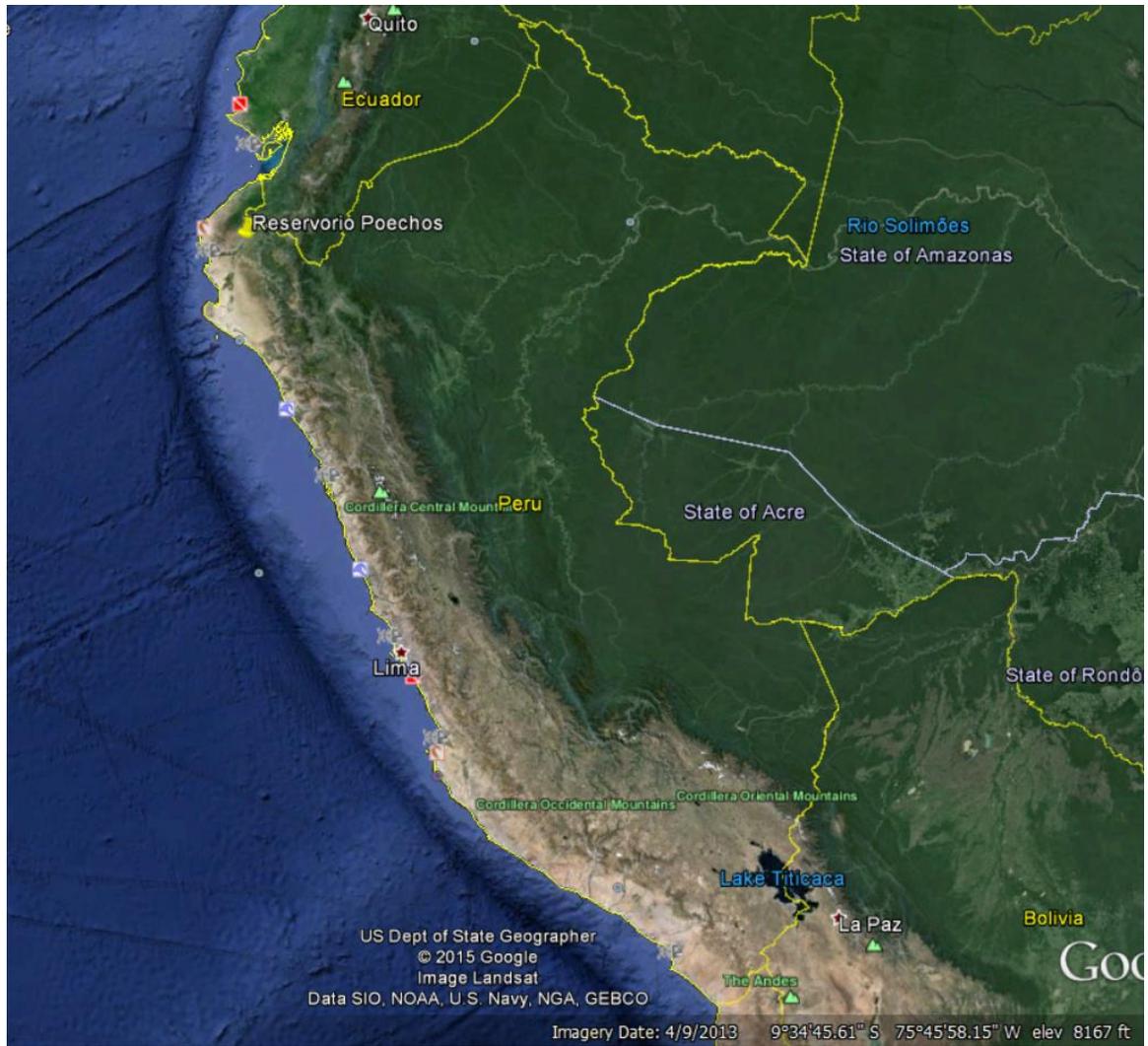


Figura 9. Ubicación geográfica del Reservorio Poechos.
Fuente: Google earth.



Figura 10. Ubicación geográfica de las estaciones hidrometeorológicas operativas. (Puntos amarillos: estaciones, puntos rojos: lugares)

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú y Google Earth.



Figura 11. Ubicación geográfica de las estaciones hidrometeorológicas cerradas. (Puntos amarillos: estaciones, puntos rojos: lugares)
 Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú y Google Earth.

2.3. Hidráulica

La información de este apartado fue obtenida en su mayoría de la tesis *Análisis de la colmatación del Reservorio Poechos y propuestas de solución*, cuyo autor es el ingeniero Quintana Contreras, José Antonio (2006); del *Título habilitante del Chira-Piura* (2013) y del *Diagnóstico de gestión de la oferta de aguas cuencas Chira-Piura*, elaborado por el PECHP en Julio 2001.

2.3.1. Reservorio Poechos

El Reservorio constituye la obra principal de la primera de las tres etapas del Proyecto Especial Chira-Piura y representa la más importante del Sistema de Riego Chira-Piura. Está ubicada sobre el río Chira, al noroeste del Perú, en una zona costera y desértica, a 30 Km. aguas arriba de la ciudad de Sullana.

Su objetivo principal es almacenar los excedentes de agua del río Chira durante el periodo lluvioso y regular anualmente los caudales del río Chira. Así, se pretende satisfacer la demanda de los valles Piura y Chira con una alta probabilidad de que la operación sea segura y confiable. (Morocho Calle, 2004)

Su construcción se inició en el año 1970 y culminó en 1976. Se diseñó con una capacidad de almacenamiento de 1 000 MMC.

Fue puesta en operación el 4 de junio de 1976. Actualmente permite irrigar 108 000 ha, en los valles Chira y Piura, es fuente generadora de 41 MW de energía (entre las centrales hidroeléctricas de Curumuy, Poechos I y Poechos II), y abastece de agua para uso poblacional a las ciudades de Piura, Sullana, Paita y Talara.

Actualmente el reservorio Poechos ha disminuido su capacidad como consecuencia del problema de sedimentación. La colmatación del embalse es un problema muy serio dadas las cantidades de sedimentación de la corriente del río Chira. En la actualidad, según los datos recopilados hasta diciembre del 2014, se pudo determinar el volumen acumulado de sedimentación en el reservorio de Poechos en 54,16% del volumen inicial de operación (885 MMC en la cota 103). En la actualidad almacena un volumen útil de 405,6 MMC.

En la tabla 5 se detalla los niveles de operación y volúmenes del reservorio Poechos, y en la tabla 6 se describe las características técnicas del reservorio Poechos, ambas tablas según su diseño inicial. Y la tabla 7 se detallan los niveles de operación y volúmenes del reservorio Poechos, en la actualidad.

Tabla 5. Niveles de Operación y volúmenes del reservorio Poechos, según diseño.

N	DESCRIPCIÓN	COTA RELATIVA(m.s.n.m.)	Volumen(MMC)
1	Nivel de Operación Normal	103	885
2	Nivel Mínimo de Operación	84	180
3	Nivel de volumen muerto	78,5	94
4	Volumen Efectivo		705
5	Volumen útil	103	791

Fuente: Proyecto Especial Chira Piura (1981).

Tabla 6. Características técnicas del reservorio Poechos, según diseño.

N	DESCRIPCIÓN	
1	Inicio de Construcción	1 972
2	Inicio de Operación	1 976
3	Vida Util	50 años
4	Altitud de corona	108 m.
5	Tipo de Presa	Tierra
6	Altura de la Presa	48 m.
7	Longitud de Corona	11 km.
8	Volumen de Diseño	1 000 MMC
9	Cota máxima de operación	103 m.s.n.m.(OLSA) ⁶
10	Cota mínima de operación	84 m.s.n.m.
11	Cota de Volumen muerto-Nivel mínimo de captación	78,5 m.s.n.m.
12	Nivel máximo de almacenamiento	105 m.s.n.m.
13	Volumen de almacenamiento en la cota máxima de operación 103, según diseño	885 MMC
14	Volumen de almacenamiento en la cota mínima de operación 84, según diseño	180 MMC
15	Volumen muerto a nivel 78,5 m.s.n.m.	96 MMC
16	Volumen efectivo(cota máx.-cota mín.)	705 MMC
17	Volumen util, según diseño a nivel 103 m.s.n.m.	789 MMC
18	Capacidad de descarga	5 500 m ³ /s
19	Area bajo riego	108 874 Ha.
20	Área de espejo a nivel 103 m.s.n.m.	62 km ²
21	Longitud de embalse	24 km.

Fuente: Proyecto Especial Chira Piura (1981).

⁶ OLSA: El sistema OLSA es un sistema relativo de medición altimétrica y lo utilizaron al momento de la construcción, por ende se trabajó con coordenadas y niveles de agua en el sistema WGS84 (World Geodetic System 84 que significa Sistema Geodésico Mundial 1984).

Tabla 7. Niveles de Operación y volúmenes del reservorio Poechos, en la actualidad.

N	DESCRIPCIÓN	COTA RELATIVA(m.s.n.m.)	Volumen(MMC)
1	Nivel de Operación Normal	103	405,52
2	Nivel de volumen muerto	78,5	15,16(al 2013)
3	Volumen de sedimentos	103	479,48
4	Volumen útil	103	390,36

Fuente: Elaboración propia.

Operación del embalse Poechos

La información de este apartado fue obtenida del *Diagnóstico de gestión de la oferta de agua cuencas Chira-Piura*, elaborado por el PECHP en Julio 2001.

La operación del embalse se realiza mediante dos modalidades: Operación Normal en estiaje, y operación de Emergencia en Avenidas.

En el período de operación normal, la demanda de agua es siempre mayor que los aportes; el vaciado del reservorio se torna permanente con control de descargas y tiempos de duración, de acuerdo con los PCR y a las necesidades de los usuarios.

En cambio en el período de operación de emergencia, es decir, cuando los aportes son mayores que las demandas; las descargas al río Chira se realiza por la necesidad de mantener el almacenamiento hasta el nivel normal de operación, de acuerdo con las reglas de operación vigentes.

El embalse “Poechos” desde su puesta en operación, se ha venido operando bajo diferentes reglas de operación: Manual preparado por Energoprojekt en el año 1976, Reglas Modificadas – Energoprojekt, en el año 1977, Acuerdos sobre la operación del Embalse Poechos (“Reglas Hudson”) en el Año 1978, Reglas de Operación Presa Poechos (“Reglas Araujo”) en el Año 1984 y Reglas formuladas por la Empresa Consultora COLPEX PROJECT desde 1999 hasta la actualidad. (Proyecto Especial Chira Piura, 2001)

Para ejecutar una buena operación del Embalse “Poechos”, se ha tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- El embalse Poechos no tiene un volumen específico de diseño para la mitigación de avenidas extraordinarias.
- Al final de cada período lluvioso es preciso asegurar un embalse completamente lleno.
- Coordinar la limpieza del cauce del río Chira aguas abajo de la presa, a fin de evitar inundaciones.

De acuerdo a lo enunciado anteriormente la Operación del Embalse Poechos, representa un problema técnico bastante complejo, porque el volumen de agua acumulado en el reservorio, asegura solamente la regulación parcial del Balance Hídrico en años

lluviosos; y porque ante avenidas extraordinarias, la capacidad física del cauce del río aguas abajo de la represa es limitada, no pudiéndose así admitir desembalses incontrolados.

Durante el período de funcionamiento de la presa la evacuación de grandes descargas de agua por el aliviadero principal, ha ocasionado una fuerte erosión en la poza disipadora de energía contigüo al cuenco amortiguador; hecho que ha demandado en la actualidad, realizar una protección adecuada en la poza del referido cuenco. De acuerdo al estudio realizado por el Consultor COLPEX PROJECT, resulta necesario invertir en la protección del cuenco la suma de \$ 1 000 000 de dólares, requiriéndose como actividad previa a dichos trabajos, la realización de un modelo hidráulico. (Proyecto Especial Chira Piura, 2001)

Mantenimiento de la presa: Poechos

La información de este apartado fue obtenida del *Diagnóstico de gestión de la oferta de agua cuencas Chira-Piura*, elaborado por el PECHP en Julio 2001.

El mantenimiento de la presa, se realiza con el fin de evitar daños en la estructura que pueda comprometer su estabilidad. Los tipos de mantenimiento que se realizan son: Regular, Sistemático y de emergencia.

- El mantenimiento regular, se realiza sin suspender el servicio, ejecutándose a través de una instrucción de trabajo en base a inspecciones técnicas de rutina.
- El mantenimiento sistemático, se realiza con suspensión del servicio con embalse mínimo y ejecutándose bajo un plan elaborado previamente y coordinado con los usuarios.
- El mantenimiento de emergencia, se realiza como consecuencia del tránsito de eventos aleatorios, como es el caso de avenidas extraordinarias de fenómenos de El Niño.

En la figura 12 se muestra una vista en planta de la presa Poechos.



Figura 12. Vista en planta de la Presa Poechos.

Fuente: Google earth.

2.3.2. Estructuras de protección y seguridad

La presa está equipada con estructuras de operación y seguridad como:

Salida de Fondo: es una estructura de concreto armado con blindaje con una capacidad de $300 \text{ m}^3/\text{s}$. Tiene 415 m de longitud, consta de compuertas de rueda de 4,50 m. de diámetro, válvula de mariposa y compuerta radial. Con salidas a los canales laterales Miguel Checa y Huaypirá, que irrigan el valle del Chira. En la figura 13 se muestra la salida de fondo del Reservorio.



Figura 13. Salida de fondo del reservorio

Fuente: Proyecto Especial Chira Piura (2014).

Aliviadero de Compuertas el cual se ubica en las coordenadas UTM, 9482339 Norte y 0552918 Sur; está conformado de tres compuertas radiales, de 10 m. de ancho por 12 m. de altura y 210 toneladas de peso c/u. y tienen como función controlar las descargas de agua hacia el río Chira en época de avenidas, con una capacidad máxima de 5 500 m³/s., en la actualidad su máxima descarga puede ser de 1 600 m³/s debido a la población establecida aguas abajo del reservorio. En la figura 14 se detalla el aliviadero de compuertas.



Figura 14. Aliviadero de Compuertas
Fuente: Proyecto Especial Chira Piura (2014).

Aliviadero de Emergencia se localiza en el dique izquierdo de la Presa, es un solado de concreto de 400 m. de longitud con muros laterales, tiene 4 cuerpos individuales de 100 m. c/u, sobre el cual existe un relleno fusible de tierra provisto para ser erosionado cuando las aguas excedan al nivel máximo de seguridad de la presa (cota 105 m.s.n.m.). Sirve para la evacuación de aguas extraordinarias en caso de avenidas excepcionales y está diseñado para una capacidad máxima de 10 000 m³/s., después de desaparecido el dique fusible por rebosamiento. En la figura 15 se muestra el aliviadero de emergencia.



Figura 15. Aliviadero de emergencia
Fuente: Proyecto Especial Chira Piura (2014).

2.3.3.Presa

Es la principal obra de regulación del Sistema Hidráulico Chira Piura. Está ubicada en el cauce del río Chira a 30 Km aguas arriba de la ciudad de Sullana, entre las coordenadas 4,5° de Latitud Sur y 80,5° de Longitud Oeste.

Es una presa de tierra de aproximadamente 11 km. de largo, 48 m. de altura máxima, 8m. de ancho en la corona y 290 m. de ancho máximo en la base. La corona está en la elevación 108.0 m.s.n.m. La sección es trapezoidal y tiene un talud de 2,5 hasta la cota 91 y hacia arriba cambia a 2,0. Asimismo, tiene un diafragma o pantalla de concreto para evitar pérdidas de agua por filtraciones en el fondo base de la Presa hasta alcanzar el nivel de la roca de 0,60 de espesor y de 50 m. de profundidad.

La construcción de la presa ha creado el embalse o reservorio, el cual tiene aproximadamente 24 km. de largo, 7,4 km. de ancho y una profundidad máxima de 43 m. Al inicio de su operación en el año 1 976 formaba una superficie de 62 km² de espejo de agua; con una cota de operación de 103 m.s.n.m. La corona de la Presa Poechos se ubica a una altitud de 108 m.s.n.m. y tiene una longitud total de 11 Km.

La estabilidad de la presa está garantizada por el estudio geotécnico realizado, y las medidas correctivas llevadas a cabo antes y después de la construcción. ENERGOPROJEKT fue la empresa que construyó la obra y fue supervisada por BINNIE & PARTNERS CORPORACION PERUANA DE INGENIERIAS.A.

La integran, el dique principal que cierra el lecho del río Chira, el cual tiene 48 m. de altura y 13 km. de largo; los diques laterales izquierdo y derecho; formando un embalse de diseño de 1 000 MMC de capacidad. Para la construcción de la presa se emplearon de relleno 18 MMC de tierra de 14 tipos de materiales diferentes, y se excavaron 9 MMC. En las obras de concreto armado, se emplearon 401 000 m³.

Estructuralmente está conformado por dos diques ubicados en los flancos (derecho e izquierdo) y un dique principal, construidos al mismo nivel (108.00 m.s.n.m.) que la cresta de la presa principal.

En los diques están ubicados dos obras de salida (tomas), que atraviesan el relleno por medio de túneles cortos ubicados en la margen izquierda y derecha de la presa principal, asegurando la entrega de demanda de agua para los valles Chira, Medio y Bajo Piura respectivamente.

En la Presa Principal está ubicado el aliviadero de compuertas, el cual cumple tres funciones principales: evacuar los excesos de agua que trae el río Chira, evacuar la gran cantidad de material flotante que trae el río en época de avenidas y permitir regular avenidas extraordinarias.

En el dique izquierdo se encuentra un aliviadero de emergencia, el cual sirve como protección para el caso de avenidas extraordinarias que pudieran presentarse, diseñado para una descarga de 10 000 m³/s y periodo de retorno de 10 000 años.

En la tabla 8 se detalla un resumen de las características de la presa Poechos.

Tabla 8. Resumen de las características de la Presa

N	DESCRIPCIÓN	
1	Altitud de corona	108 m.
2	Tipo de Presa	Tierra
3	Altura	48 m.
4	Longitud de Corona	11 km.
5	Ancho de corona	8 m.
6	Ancho máximo de corona en la base	290 m.

Fuente: Elaboracion propia.

2.3.4. Bocatomas

a. Toma del Canal Miguel Checa

Es una estructura de concreto armado con blindaje. Tiene una longitud de 415 m. y un diámetro de 5 m. Se encuentra en buen estado de conservación y bajo la operación del Proyecto Especial Chira-Piura, beneficia a los usuarios de la CUs Miguel Checa.

Fue puesta en servicio en 1976 y su capacidad en la actualidad es de un caudal máximo de captación de $22 \text{ m}^3/\text{s}$. y un caudal de operación de $19 \text{ m}^3/\text{s}$. En la figura 16 se presenta una vista de la bocatoma Miguel Checa.



Figura 16. Ubicación y vista de la Bocatoma Miguel Checa.

Fuente: Proyecto Especial Chira Piura (2014).

b. Toma del Canal Daniel Escobar

Es una estructura de concreto armado, presenta dos compuertas radiales. Tiene una longitud del conducto de 142 m. y un diámetro de 2,4 m. Tiene una capacidad de un caudal máximo de captación igual a $70\text{m}^3/\text{s}$ y un caudal de operación de $55\text{m}^3/\text{s}$. Se encuentra en buen estado de conservación y sirve a los usuarios de la CUs Poechos Pelados. En la figura 17 se presenta una vista de la bocatoma Daniel Escobar.

Fue puesta en servicio en 1 976 y luego de poner en marcha este canal se presentaron algunas problemáticas, como las invasiones de terreno y hurtos de agua que fueron creciendo progresivamente sobre la margen izquierda del canal, hasta llegar a 3 000 ha como área total, a mediados de los años noventa. Toda esta superficie se abastecía mediante bombas centrífugas directamente del canal, hurtando cada usuario entre 10 a 30 l/s, perjudicando a los usuarios aguas abajo, del Medio y Bajo Piura.

Las autoridades de agua procedieron a realizar un empadronamiento de los usuarios, creando la Comisión de Usuarios Daniel Escobar, construyéndoles las tomas y canales necesarios para incorporarlos al sistema de riego, con lo cual los usuarios están sujetos al pago de tarifa y entrega de agua regulada. El promedio de uso de agua que se tiene para esta CUs, para los últimos cinco años arroja un volumen de 19,71 MMC/año, cifra muy inferior que la que resultaba por el hurto de agua permanente durante 24 horas al día por parte de los usuarios.

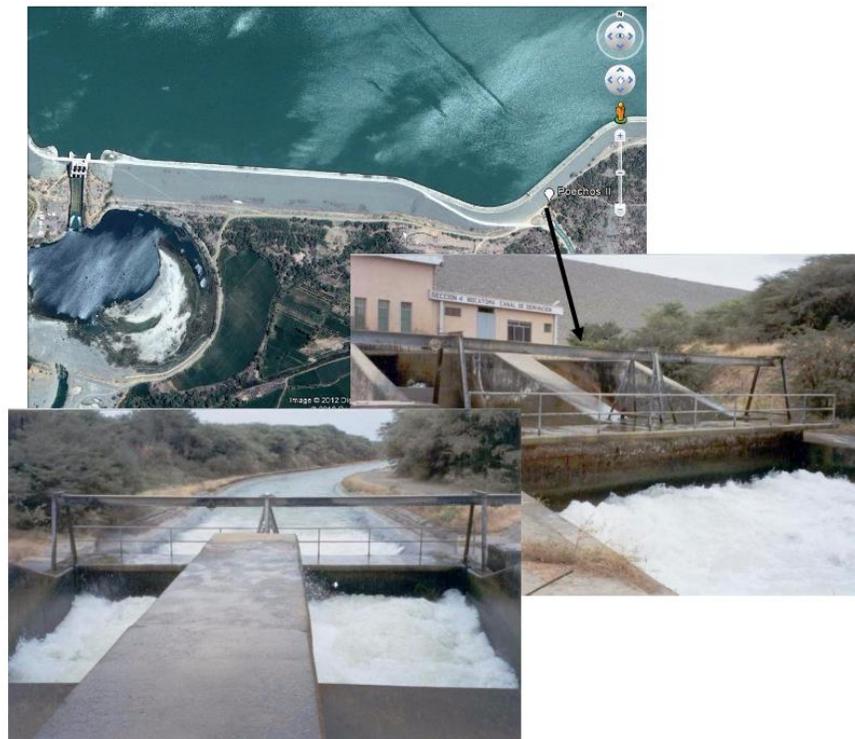


Figura 17. Ubicación y vista de la Bocatoma Canal Daniel Escobar.

Fuente: Proyecto Especial Chira Piura (2014).

c. Bocatoma Canal Huaypirá

Es una estructura de concreto, se ubica en la margen derecha de la salida de fondo del Reservorio de Poechos, del cual capta y lo deriva al canal Huaypirá, cuenta con un vertedero de emergencia que desemboca en la margen derecha de la salida de fondo hacia el Río Chira o el canal Miguel Checa; además tiene una compuerta de sección rectangular.

Se encuentra en buen estado de conservación y sirve a los usuarios de la CUs Poechos Pelados. Fue puesta en servicio en 1976, con una capacidad para un caudal de operación de $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$. En la Figura 18 se presenta una vista del canal Huaypirá.



Figura 18. Ubicación y vista de la Bocatoma Canal Huaypirá.

Fuente: Proyecto Especial Chira Piura (2014).

2.4. Sedimentología

Para el desarrollo de este capítulo hemos empleado los distintos informes batimétricos del reservorio hasta el 2014, así como el informe de la situación del reservorio de Poechos del Proyecto Especial Chira- Piura y la tesis *Análisis de la colmatación del Reservorio Poechos y propuestas de solución*, cuyo autor es el ingeniero Quintana Contreras, José Antonio (2006).

2.4.1. Batimetrías hasta el 2014

La batimetría es un levantamiento del relieve de una superficie subacuática, ya estemos hablando del fondo marino, lagos, ríos, entre otras, como si se tratase de un terreno completamente seco.

El ingeniero Francisco Morocho Calle, menciona en el 2011, que desde su inauguración hasta la fecha, en la presa Poechos se han realizado varias mediciones del sedimento acumulado en el vaso regulador de esta estructura. De acuerdo a estos trabajos, se observó que hasta el año 1982 la acumulación de sedimentos en el vaso del reservorio estuvo de acuerdo a lo previsto en los parámetros de diseño. Sin embargo, con los fenómenos ocurridos en los años 1983 y 1998, el depósito de sedimento se incrementó en forma acelerada. Esto causó preocupación debido a la disminución hídrica al volumen útil.

- Levantamiento batimétrico

El levantamiento batimétrico se efectuó en 2 partes:

a. Levantamiento en zonas accesibles

Para el levantamiento en zonas accesibles, se utilizó una embarcación pequeña de fibra de vidrio de un metro de calado. Para la medición de la distancia se trabajó desde una estación conocida para el posicionamiento de la embarcación.

El levantamiento batimétrico tiene dos componentes: la medición de la profundidad y el posicionamiento.

- Medición y registro de Profundidades

Para el registro de profundidades se empleó una ecosonda, que opera basándose en el principio del eco, desde el trasreceptor ubicado en el transducer. Desde allí es emitido por un pulso ultrasónico que se propaga en el agua a una velocidad de 1200-1500 m/s. Al llegar al fondo, se refleja en él y retorna al transducer. La unidad transreceptora mide automáticamente el tiempo que demora el eco en ser recibido.

- Posicionamiento de los Sondajes

Paralelo a la medición de las profundidades, también se debe conocer la posición exacta que se tiene, para así poder presentarla en la carta geográfica. El sistema de posicionamiento electrónico empleado trabaja mediante una estación maestra móvil y una estación ubicada geográficamente en tierra. Éstas, mediante ondas electromagnéticas, determinan en todo momento la posición exacta del punto de información.

Se efectuaron calibraciones del ecosonda al inicio y final de cada sección, así como las correcciones horarias a las lecturas por efecto de la disminución del nivel del reservorio e inmersión del transducer.

b. Levantamiento en zonas de difícil acceso

En las zonas de difícil acceso se utilizó una embarcación de poco calado con motor fuera de borda. Se empleó el método de ángulo y distancia para el posicionamiento de la misma, así como la ecosonda Low Range para el registro de las profundidades. Se utilizó también una sonda eléctrica por la medición de profundidades, sobre todo en lugares de poca profundidad. En este caso se efectuó la reducción de sondajes, de acuerdo a la cota del espejo de agua, en el momento mismo en que se realizaba la batimetría. Cálculo de sedimentos en el reservorio Poechos

El cálculo de sedimentos en el reservorio Poechos se ha realizado en base a dos métodos de medición que ha realizado el personal técnico del Proyecto Especial Chira-Piura. El primero está relacionado con el control de los niveles de los sedimentos en el reservorio mediante batimetrías; el segundo se basa en mediciones de sedimentos en los caudales o masas de agua que ingresan al reservorio. El cual solo desarrollaremos en esta investigación el primero, y la información para este método se ha recopilado de los archivos técnicos y de reportes que realiza el Proyecto Especial Chira-Piura.

Según registro de batimetrías realizadas: Se ha recopilado reportes y exposiciones realizadas por personal técnico de la Dirección de Operación y Mantenimiento del Proyecto Especial Chira-Piura, en la que se muestra los resultados de 24 batimetrías realizada en el periodo 1979-2014.

A continuación la tabla 9 muestra los aportes hídricos y sedimentológicos del Reservorio. Y en la figura 19 se detalla el ingreso de sedimentos al reservorio durante el periodo 1976-2014. Y en la tabla 10 se detallan las batimetrías de la acumulación de sedimentos en el Reservorio Poechos, Periodo: 1976-2014

Tabla 9. Aportes hídricos y sedimentación del reservorio durante el periodo 1976-2014

DESCRIPCION	UNIDAD	APORTES HIDRICOS AL RESERVORIO	SEDIMENTACION DEL RESERVORIO
Total acumulado(1976-2014)	MMC	165744.7	479.48
Promedio anual	MMC/Año	4361.70	12.62
Promedio anual sin F. del Niño	MMC/Año	3673.85	9.13
Promedio anual con F. del niño	MMC/Año	16743	75.45
Porcentaje de sedimentacion del reservorio	%		54.18
Capacidad del reservorio según diseño 885 MMC			

Fuente: Proyecto Especial Chira Piura (2015).

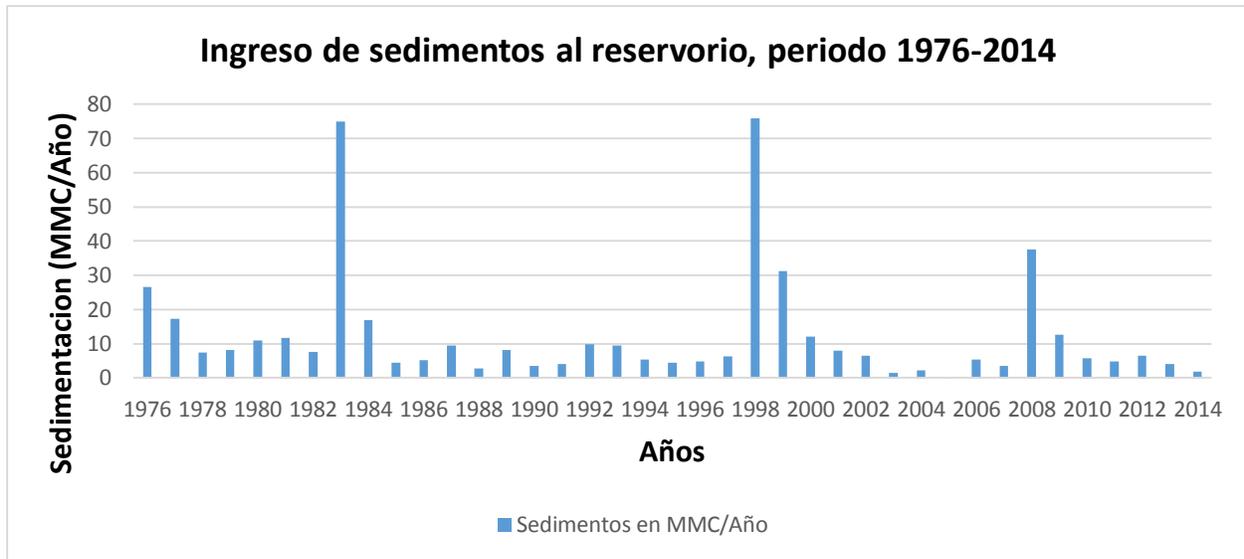


Figura 19. Ingreso de sedimentos al reservorio durante el periodo 1976-2014

Fuente: Proyecto Especial Chira Piura (2015).

Tabla 10. Batimetrías de la acumulación de sedimentos en el Reservorio Poechos, Periodo: 1976-2014

AÑO	CAUDAL DE APORTE		SEDIMENTO EN EL PERIODO MMC	BATIMETRIA	SEDIMENTO	
	ANUAL MMC	ACUMULADO MMC			ANUAL MMC	ACUMULADO MMC
1976	5323	5323			26.6	26.6
1977	3473	8796			17.3	43.9
1978	1488	10284			7.4	51.3
1979	1629	11913	59.4	B.1	8.1	59.4
1980	1800	13713			11	70.4
1981	1902	15615	22.7	B.2	11.7	82.1
1982	1642	17257			7.7	89.8
1983	15930	33187	82.7	B.3	75	164.8
1984	6594	39781			17	181.8
1985	1752	41533			4.5	186.3
1986	1981	43514			5.1	191.4
1987	3677	47191	36.1	B.4	9.5	200.9
1988	1402	48593			2.8	203.7
1989	4070	52663			8.2	211.9
1990	1780	54443			3.6	215.5
1991	1979	56422	18.6	B.5	4	219.5
1992	4993	61415			9.8	229.3
1993	5250	66665			9.5	238.8
1994	4751	71416	24.7	B.6	5.4	244.2
1995	1494.1	72910.1			4.5	248.7
1996	1631.1	74541.2			4.8	253.5
1997	2239.9	76781.1	15.6	B.7	6.3	259.8
1998	17556	94337.1	75.9	B.8	75.9	335.7
1999	7017.4	101354.5	31.3	B.9	31.3	367
2000	6114	107468.5	12	B.10	12	379
2001	5785	113253.5	8	B.11	8	387
2002	6211	119464.5	6.5	B.12	6.5	393.5
2003	1992	121456.5	1.5	B.13	1.5	395
2004	1495.7	122952.2	2.26	B.14	2.26	397.26
2005	2300.9	125253.1	0.26	B.15	0.26	397.52
2006	4421.2	129674.3	5.35	B.16	5.35	402.87
2007	2125.7	131800	3.45	B.17	3.45	406.32
2008	8867.6	140667.6	37.63	B.18	37.63	443.95
2009	6982.7	147650.3	12.65	B.19	12.65	456.6
2010	2657.3	150307.6	5.8	B.20	5.8	462.4
2011	2707.6	153015.2	4.8	B.21	4.8	467.2
2012	8698.3	161713.5	6.41	B.22	6.41	473.61
2013	1894.6	163608.1	4.04	B.23	4.04	477.65
2014	2136.6	165744.7	1.83	B.24	1.83	479.48
SUMA	165744.7		479.48		479.48	

Fuente: Proyecto Especial Chira Piura (2015).

La situación del reservorio al año 2014, en cuanto a los volúmenes de agua y de sedimentos, se establecen previo cálculo de la colmatación, la cual se puede determinar en base a los aportes mensuales líquidos y de sedimentos que se hayan registrado.

La batimetría más reciente, la B.24, es la realizada en el año 2014, realizada por el PECHP.

De los cuadros resumen de la batimetría del año 2014 se obtiene:

- Volumen de agua en la cota 103 = 405.52 MMC
- Volumen acumulado de sedimentos = 479.48 MMC
- % de sedimentos respecto al volumen inicial de diseño (885 MMC) = 54.18%

En base a estos resultados, se establecen los valores siguientes:

- Volumen Útil = 390,36 MMC
- Volumen Muerto = 15,16 MMC

Conclusiones y Recomendaciones de la Batimetría

- Según los reportes del PECHP al año 2014, según los registros de batimetría, la sedimentación acumulada del reservorio Poechos fue de 479.48 MMC, equivalente al 54.18 % de la capacidad total de diseño original, reduciéndose el volumen útil a 390,36 MMC, con una tasa de sedimentación promedio de 12.62 MMC/AÑO.
- El volumen útil del reservorio es 390,36 MMC, mucho menor que los 437 MMC que se esperaba tener a los 50 años de funcionamiento, en la actualidad se encuentra en el año 39 de funcionamiento.
- La causa principal para la sedimentación acelerada del reservorio Poechos es la ocurrencia de los Fenómenos El Niño.
- Según la tendencia de la sedimentación se estima que el volumen útil se agotará definitivamente en 24 años contados a partir del 2012; por otra parte el volumen de emergencia se alcanzará dentro de 17 años. De producirse algún Fenómeno El Niño (FEN) el volumen útil se perderá con mayor celeridad.
- El Proyecto Especial Chira-Piura, para compensar la pérdida del volumen útil del reservorio está evaluando dos alternativas: Recreer la altura del embalse, de tal manera que almacene más agua o la construcción de otros embalses.
- Con carácter de urgente el Gobierno Regional de Piura debe priorizar la evaluación y selección de alternativas para compensar la pérdida de volumen útil del reservorio Poechos.

2.4.2. Capacidad inicial y actual del embalse

Para el desarrollo de este apartado la información se obtuvo del informe batimétrico del 2014, realizado por el Proyecto Especial Chira Piura (Proyecto Especial Chira Piura, 2015).

La colmatación de Poechos constituye el principal problema actualmente. Según los estudios de batimetría realizados al 2014, como se muestra en la figura 20, el embalse tiene un volumen de sedimentos de 479,48 MMC, volumen almacenado de 405,42 MMC y considerando el volumen muerto del año 2013 de 15,16 MMC se tendría un volumen útil de 390,36 MMC.

La reducción de la capacidad de agua almacenada está ocasionando serios problemas en el sector agrícola. El año pasado, en un momento determinado del año la capacidad de almacenamiento del reservorio fue de 79 MMC, lo que llevó a que las siembras de arroz casi fuesen declaradas en emergencia por la falta de capacidad para irrigar las tierras si no hubiese sido por las lluvias provenientes de Sullana, que apaciguaron dicha situación.

Esta problemática está haciendo que los agricultores recurran a medios vandálicos para la obtención del recurso hídrico. Los técnicos del reservorio se han percatado que los agricultores cortan las cadenas metálicas de $\frac{3}{4}$ " y luego vuelven a amarrarlas para que aparentemente no se note el daño. De esta manera pasan de 200 l/s designados a un promedio de 400 l/s en las tomas donde se hace el robo, o de una altura de canal de 8 cm a 55 cm, perjudicando además la llegada del recurso aguas abajo de las tomas.

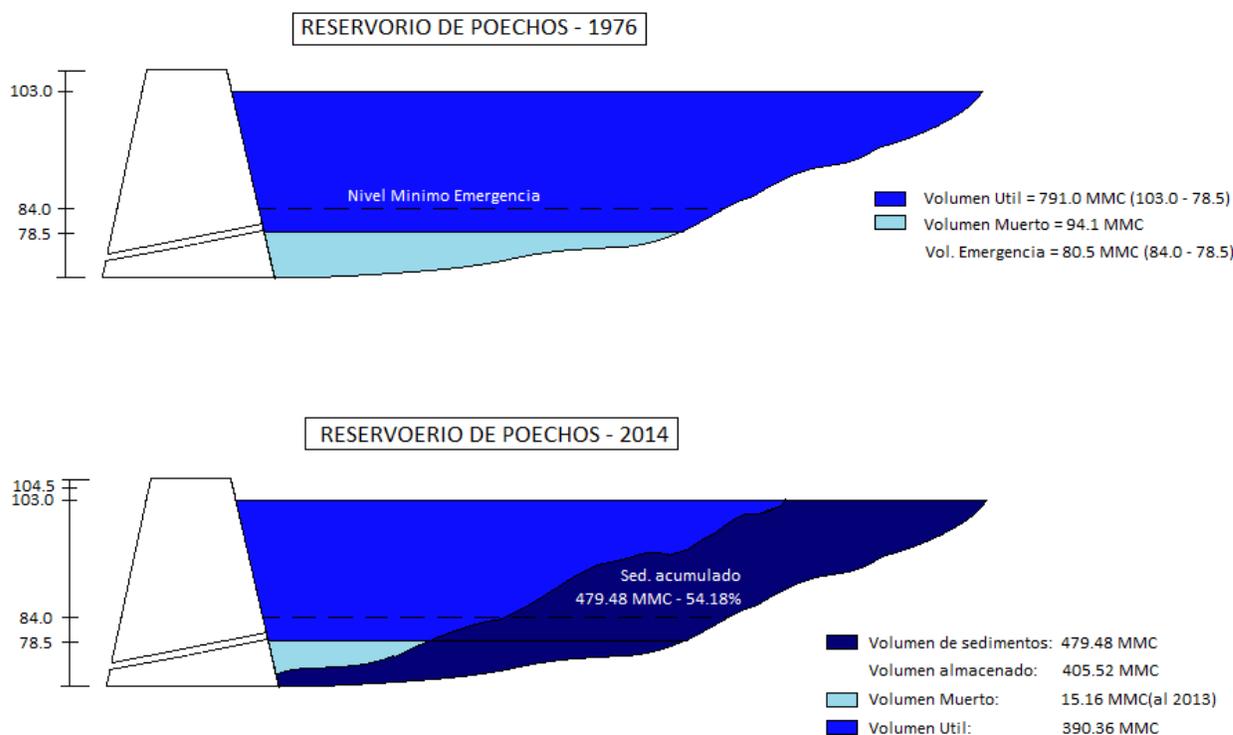


Figura 20. Capacidad inicial y actual del embalse
Fuente: Proyecto Especial Chira Piura (2015).

2.4.3. Curva granulométrica

La información de este apartado fue obtenida de la tesis *Análisis de la colmatación del Reservorio Poechos y propuestas de solución*, cuyo autor es el ingeniero Quintana Contreras, José Antonio (2006).

En la figura 21 se muestran las curvas granulométricas de sedimentos en suspensión del Río Chira en las estaciones: Ardilla, Rosita y Sullana, y en la figura 22 se muestran las curvas granulométricas de depósito en el cauce del río Chira en las estaciones: Ardilla y Rosita.

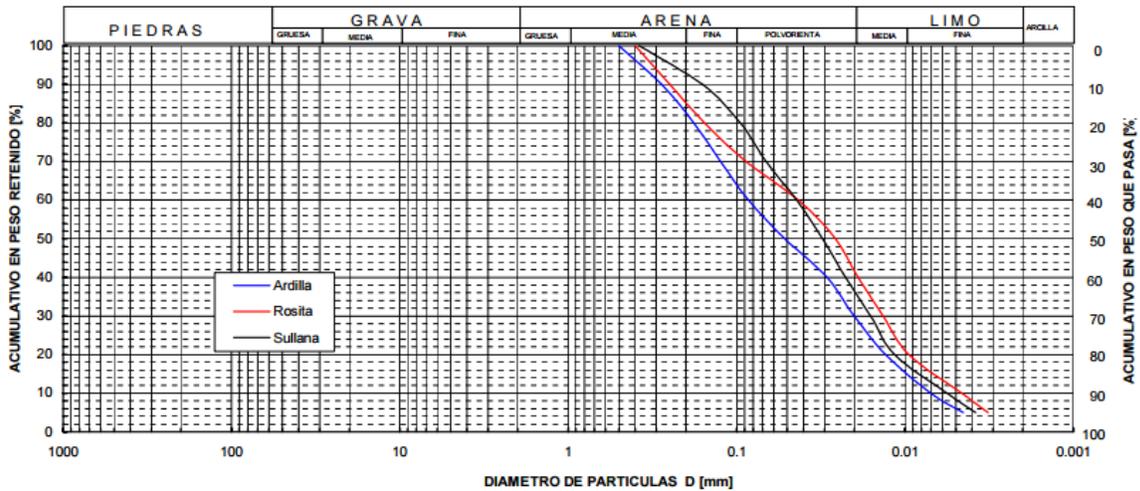


Figura 21. Curvas Granulométricas de sedimentos en Suspensión del Río Chira
Estaciones: Ardilla, Rosita y Sullana
Fuente: Quintana Contreras (2006).

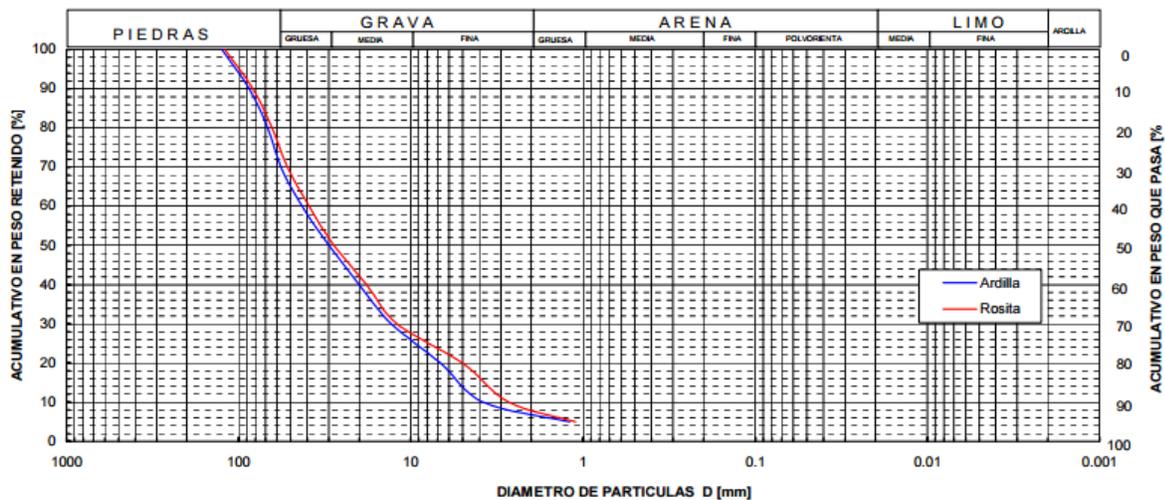


Figura 22. Curvas Granulométricas de depósito en el cauce del río Chira
Estaciones: Ardilla y Rosita.
Fuente: Quintana Contreras (2006).

Las curvas granulométricas del material en suspensión y de fondo del río Chira se muestran en las figuras 21 y 22 estas se han tomado, respectivamente, del *Estudio de Sedimentación del Reservorio y Determinación de los Límites de Inundación aguas debajo de la Presa Poechos*. (Quintana Contreras, 2006)

Al observar las curvas granulométricas podemos decir que el material en suspensión y el de fondo están compuestos de la siguiente manera:

En Suspensión

Arena 70%

Lino 30%

De fondo

Gravas medianas y finas 50%

Gravas gruesas 24%

Piedra 26%

2.4.4. Curva capacidad del embalse vs. tiempo

Cabe resaltar que, el reservorio de Poechos, a lo largo del tiempo de su funcionamiento ha soportado 02 Fenómenos del Niño (FEN), por lo que la sedimentación anual se incrementó 10 veces más de lo que se pronosticó en el diseño inicial, es por ello que el reservorio se vio afectado profundamente durante estos dos fenómenos ya que debido a ellos el reservorio se ha elevado muy por encima de lo que se predijo según los estudios.

Los sedimentos ocupan actualmente gran capacidad del volumen del embalse, viéndose afectado el reservorio en su capacidad de almacenamiento ya que se diseñó para un volumen útil de 885 MMC y en la actualidad solo almacena 405,52 MMC, según la batimetría del 2014, esta disminución en el almacenamiento de agua se debe a que los sedimentos actualmente ocupan 479,48 MMC.

En la Figura 23 se muestra la capacidad del reservorio anualmente a lo largo de todo su periodo de funcionamiento, claramente se nota que en los años 1982-1983 y los años 1997-1998 se tuvieron grandes avenidas debido al FEN, lo cual trajo consigo no solamente agua, sino también trajo consigo una gran cantidad de sedimento lo cual favoreció para que el embalse de Poechos se colmatara de manera rápida y su capacidad de almacenamiento se viera afectada.

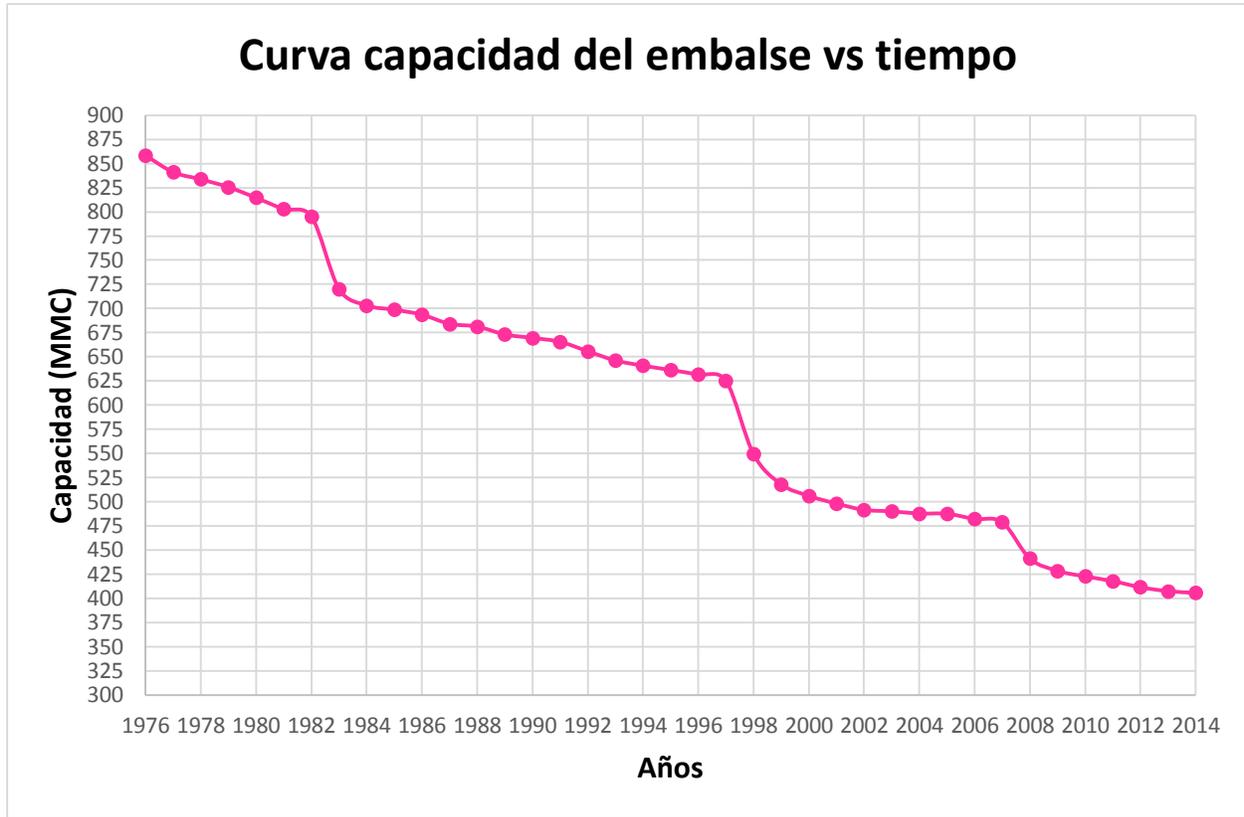


Figura 23. Curva capacidad del embalse vs. tiempo

Fuente: Elaboración Propia

2.4.5. Curva cota vs. volumen

Los datos de las Batimetría que se han obtenido a lo largo de todo el tiempo de vida de la represa desde el primer año de su funcionamiento son muy importantes ya que nos han ayudado a comprender los distintos fenómenos que se han suscitado en el lecho del embalse en todos estos años hasta la actualidad.

Los registros de cotas y volúmenes de agua dentro del embalse se tienen a partir del año 2002. De los años anteriores se tiene el dato de volumen en la cota de funcionamiento (103 m.s.n.m.).

En la tabla 11 se detallan los registros cota caudal desde el 2002 hasta el 2014.

Tabla 11. Registros cota caudal desde el 2002 hasta el 2014

COTA	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
70	4.7	4.7	4.6	4.6	4.6	4.1	1.1	3.5	3.4	3.4	3.8	3.8	-
71	5.5	5.5	5.5	5.5	5.4	4.9	1.3	4.1	4.1	4	4.5	4.5	-
72	6.5	6.5	6.5	6.5	6.4	5.8	1.7	4.9	4.8	4.8	5.4	5.3	-
73	7.7	7.7	7.7	7.7	7.6	6.9	2.1	5.8	5.7	5.7	6.3	6.3	-
74	9.1	9.1	9.1	9.1	9	8.2	2.6	6.9	6.8	6.7	7.5	7.4	-
75	10.7	10.7	10.7	10.7	10.5	9.6	3.2	8.2	8.1	8	8.8	8.7	-
76	12.6	12.6	12.5	12.5	12.4	11.4	3.9	9.6	9.5	9.4	10.3	10.2	-
77	14.7	14.7	14.6	14.6	14.5	13.3	4.8	11.3	11.2	11.1	12.1	12	-
78	17.2	17.2	17.1	17.1	16.9	15.6	5.8	13.3	13.1	13	14.2	14	-
79	20	20	19.9	19.9	19.7	18.3	7.1	15.6	15.4	15.2	16.5	16.4	-
80	23.3	23.3	23.2	23.2	22.9	21.4	8.7	18.3	18	17.8	19.2	19.1	-
81	27.1	27.1	26.9	26.9	26.6	24.9	10.5	21.3	21.1	20.8	22.4	22.2	-
82	31.4	31.4	31.2	31.2	30.9	28.9	12.7	24.9	24.5	24.3	26	25.7	-
83	36.3	36.3	36.2	36.1	35.8	33.6	15.4	28.9	28.5	28.2	30.1	29.8	-
84	42	42	41.8	41.7	41.3	38.9	18.5	33.6	33.1	32.8	34.8	34.4	-
85	48.4	48.4	48.2	48.1	47.6	45	22.3	38.9	38.4	38	40.1	39.7	-
86	55.7	55.7	55.5	55.4	54.8	52	26.7	45.1	44.5	44	46.2	45.8	-
87	64.1	64	63.8	63.7	63	59.9	32	52.1	51.4	50.8	53.2	52.7	-
88	73.5	73.5	73.2	73.1	72.4	69	38.2	60.1	59.2	58.6	61.1	60.5	-
89	84.3	84.2	83.8	83.8	82.9	79.3	45.6	69.2	68.2	67.4	70.1	69.4	-
90	96.4	96.4	95.9	95.9	94.9	91	54.3	79.5	78.4	77.5	80.2	79.4	-
91	110.1	110.1	109.6	109.5	108.4	104.2	64.5	91.3	90	89	91.7	90.8	-
92	125.6	125.6	125	125	123.6	119.2	76.5	104.6	103.2	102	104.7	103.7	-
93	143.1	143.1	142.4	142.4	140.8	136.2	90.5	119.7	118.1	116.8	119.3	118.2	-
94	162.8	162.8	162	161.9	160.2	155.4	106.9	136.8	135	133.4	135.9	134.6	-
95	185	184.9	184.1	184	182	177	126.1	156.1	154	152.3	154.4	153	-
96	209.9	209.8	208.8	208.7	206.4	201.3	148.5	177.9	175.5	173.5	175.3	173.6	-
97	237.8	237.7	236.6	236.5	233.9	228.7	174.6	202.5	199.8	197.5	198.8	196.9	-
98	269.1	269	267.7	267.6	264.7	259.5	204.8	230.2	227.1	224.5	225.1	222.9	-
99	304.1	304	302.6	302.4	299.1	294	240	261.3	257.7	254.8	254.6	252.1	-
100	343.3	343.1	341.6	341.4	337.6	332.7	280.7	296.2	292.2	288.9	287.5	284.8	-
101	387	386.9	385.1	384.9	380.6	376.1	327.8	335.4	330.8	327.1	324.4	321.2	-
102	435.8	435.6	433.6	433.4	428.6	424.6	382.2	379.3	374.1	369.9	365.5	362	-
103	490.2	490	487.7	487.5	482.1	478.7	445	428.4	422.6	417.8	411.4	407.4	405.6
104	550.7	550.5	548	547.7	541.6	539.2	517.4	483.3	476.8	471.4	462.5	458	-
105	618.1	617.8	615	614.6	607.8	606.5	600.6	544.6	537.3	531.2	519.4	514.3	-

Fuente: PECHP (2015).

En la Figura 24 se muestra la evolución del volumen almacenado del reservorio en función de la sedimentación acumulada a lo largo de todo su periodo de funcionamiento, se muestra a continuación a través de las gráficas de curva cota vs. volumen para los años de 1976, año en que se inició el reservorio, y para los años 2002, 2010 y 2012.

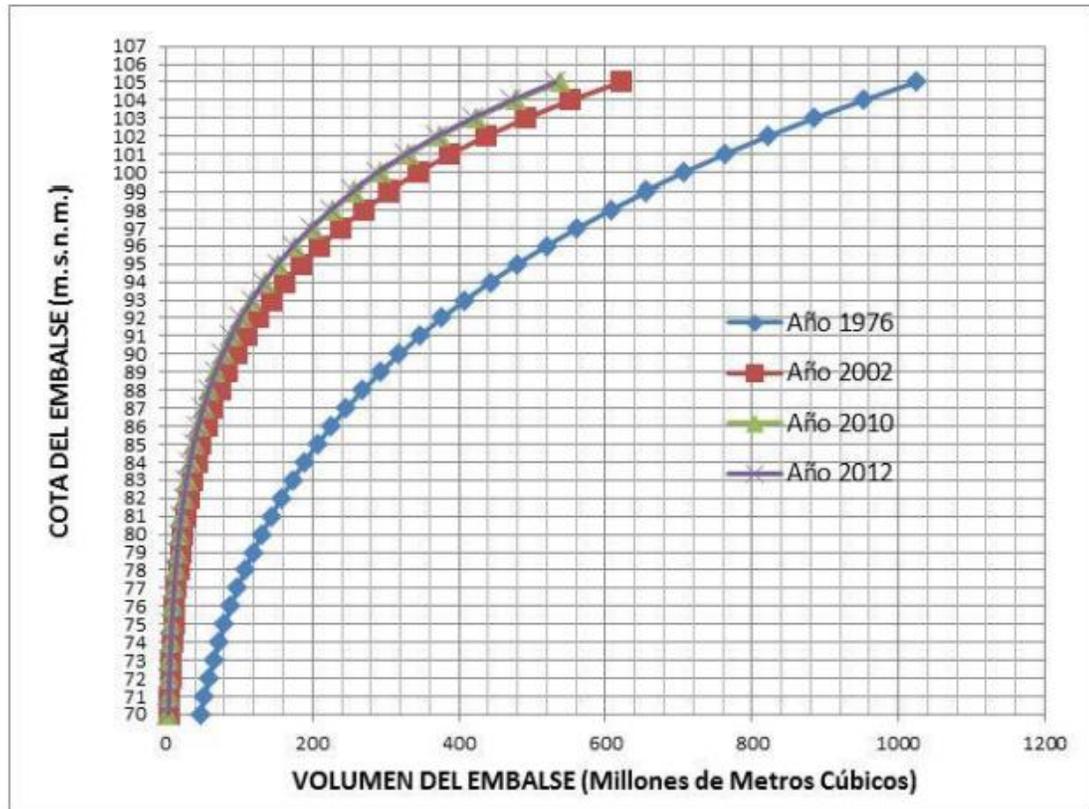


Figura 24. Evolución del volumen del almacenado reservorio en función del incremento de la sedimentación acumulada.

Fuente: Proyecto Especial Chira Piura (2015).

Capítulo 3

Reservorio San Lorenzo

En este capítulo se desarrollará el reservorio de San Lorenzo, el cual se encuentra ubicado a 115 km al Noreste de la ciudad de Piura, y se detallarán las disciplinas de la ingeniería, la hidrología, la hidráulica y sedimentología del embalse. Respecto a la hidrología se explicará todo lo relacionado a la cuenca en cuanto a su extensión, a su estado actual, que ríos pertenecen a la cuenca; la información hidrometeorológica, es decir las estaciones hidrométricas presentes en la cuenca, su ubicación geográfica, que es lo que miden, si están operativas o no y que entidad las opera. Respecto a los datos hidráulicos se mencionan las estructuras que existen en el embalse para su operación, como la presa, las bocatomas, los aliviaderos de emergencia y salidas de fondo, entre otras; y las características principales de las estructuras como el caudal máximo que ha laminado el embalse, reglas de operación, materiales con los cuales fueron construido las estructuras, su estado actual, la cota máxima y cota mínima de operación, el caudal que captan y el uso de las mismas. En cuanto a la disciplina de sedimentología se desarrollarán las curvas granulométricas de los ríos más importantes que aportan al reservorio, según la información obtenida, la capacidad inicial y actual del embalse, el desarrollo a lo largo del tiempo del embalse a través de las curvas capacidad del embalse vs. tiempo, curvas cota vs. caudal y las batimetrías obtenidas del reservorio.

3.1. Infraestructura hidráulica de San Lorenzo

Para el desarrollo de este apartado se ha obtenido información del informe *Diagnóstico de la Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca Chira-Piura Anexo 11 Infraestructura Hidráulica Multisectorial*, elaborado por la Autoridad Nacional del Agua en el 2012 y del *Manual de operación de casa válvulas* elaborado por la Junta de Usuarios del Distrito de Riego San Lorenzo en el 2009.

La infraestructura hidráulica de la Irrigación San Lorenzo se construyó entre 1949 y 1958, y en gran parte fue financiada con un préstamo del Banco Mundial. Comprendió obras civiles de gran envergadura entre las cuales son: un reservorio con capacidad

para almacenar 258 MMC, y una amplia red de más de 1 300 kilómetros de canales principales y secundarios, que permitieron el riego regulado de más de 20 mil ha.

Si bien, hasta allí, San Lorenzo fue concebido como un modelo de irrigación típico, hubo algo que lo hizo diferente. El modelo, planteado por el propio Estado, consistía en la entrega de terrenos a pequeños y medianos agricultores (el lote más grande fue de 80 ha), que además incluía servicios de acompañamiento técnico directo a los colonos, para lo cual se envió desde Lima un equipo conformado por ingenieros agrónomos, especialistas en riego, extensionistas agrícolas, economistas, educadores, etc.

La irrigación y colonización San Lorenzo es el proyecto de riego que con mayor acierto ha practicado la diversificación de cultivos: actualmente son 35 mil ha bajo riego, donde el mango y el limón ocupan la mayor área (14 mil y 8 mil ha, respectivamente). Además de estos productos se siembra arroz, menestras, algodón, maíz, entre otros. (Autoridad Nacional del Agua, 2012)

El reservorio San Lorenzo, constituye la infraestructura hidráulica principal del sistema regulado del mismo nombre; sus obras, fueron construidas en dos etapas, las cuales se detallan a continuación:

- I Etapa (1949 – 1953): Se ejecutó la desviación de las aguas del río Quiroz hacia el río Piura, permitiendo la irrigación de aproximadamente 30 mil hectáreas en el valle de Piura. Las principales obras fueron:
 - a. Bocatoma Zamba, sobre el río Quiroz de 61,8 m³/s de capacidad.
 - b. Conducto de agua hasta la entrada de la quebrada Totoral (“Canal Quiroz”) de 61,8 m³/s de capacidad, que comprende:
 - 12 + 071 km de canal abierto, revestido con mampostería, incluyendo obras de arte (conductos cubiertos, acueductos, transiciones, etc.).
 - 8 + 069 km de túneles revestidos con concreto, de los cuales el más importante es el túnel Culqui de 5 047 m de largo.
 - c. Bocatoma Chipillico se ubica en el río del mismo nombre, de capacidad de 50 m³/s, mediante la cual se distribuyen las aguas, provenientes desde la quebrada Totoral y desde el mismo río, hacia el Canal Chipillico de capacidad de 50 m³/s y hacia la Presa.
 - d. Canal Chipillico con obras de arte y conductos cubiertos, revestido con mampostería para conducir el agua hasta el río Piura, por intermedio de la quebrada “San Francisco”.
- II Etapa (1952 – 1958): Comprende la ejecución del reservorio San Lorenzo y todo el sistema de canales principales y laterales, que permitieron poner bajo riego 46 mil ha más de tierras.
 - a. Reservorio de San Lorenzo, de una capacidad inicial de 258 MMC, con una presa de tierra de 57 m de altura, diques de cierre y Vertedero de excedencias de

700 m³/s de capacidad nominal, correspondiente a la cota del embalse de 290 m.s.n.m.

- b. Salida de fondo de la Presa, con la Torre de toma, Túnel de ingreso y salida, Casa de válvulas y el equipo hidromecánico y eléctrico, para realizar las descargas reguladas desde el embalse al Canal principal “Yuscay”.
- c. Canal principal “Yuscay”, incluyendo obras de arte, revestido con mampostería, de 50 m³/s de capacidad y 15,76 km de largo. Al final del Canal principal se encuentra la estructura de distribución denominada “Partidor Yuscay”.
- d. Canales principales de distribución; “Tejedores” (12,1 Km.; 4 m³/s), “Tambogrande” (33 Km.; 16 m³/s) y “Tablazo” (70 Km.; 30 m³/s) que nacen en la estructura del Partidor Yuscay.
- e. Bocatoma en la quebrada “San Francisco” y canal “Malingas” (35 Km., 6 m³/s).
- f. Canales secundarios y terciarios. (Junta de usuarios del distrito de riego San Lorenzo, 2009)

La actual Irrigación San Lorenzo tiene a la Administración Local de Aguas San Lorenzo como el organismo desconcentrado de la ANA que representa al Estado en aspectos de recursos hídricos. Asimismo para las actividades de operación y mantenimiento de las infraestructuras mayor y menor y otras acciones propias de su reglamento, se cuenta con la Junta de Usuarios del Sector Hidráulico Menor San Lorenzo, la JUSHAL.

La Junta de Usuarios está conformada por 16 Comisiones de Usuarios que riegan sus tierras agrícolas a partir de la red de canales abastecidas por el reservorio San Lorenzo. A continuación se presenta en las Figuras 25 y 26, el esquema hidráulico de San Lorenzo con los sistemas de riego existentes, los cuales dependen del abastecimiento de agua a partir del reservorio San Lorenzo. (Autoridad Nacional del Agua, 2012)

La infraestructura Hidráulica Principal del Sistema Regulado San Lorenzo, está conformada por:

- a. Presa San Lorenzo y Aliviadero de Maray
- b. Bocatoma de Zamba, Canal Quiroz y Desarenador
- c. Bocatoma y Canal Chipillico
- d. Casa de Válvula, Canal Yuscay y Estructura el Partidor
- e. Canal Tablazo
- f. Canal Tejedores
- g. Canal Tambogrande
- h. Bocatoma Canal Malingas

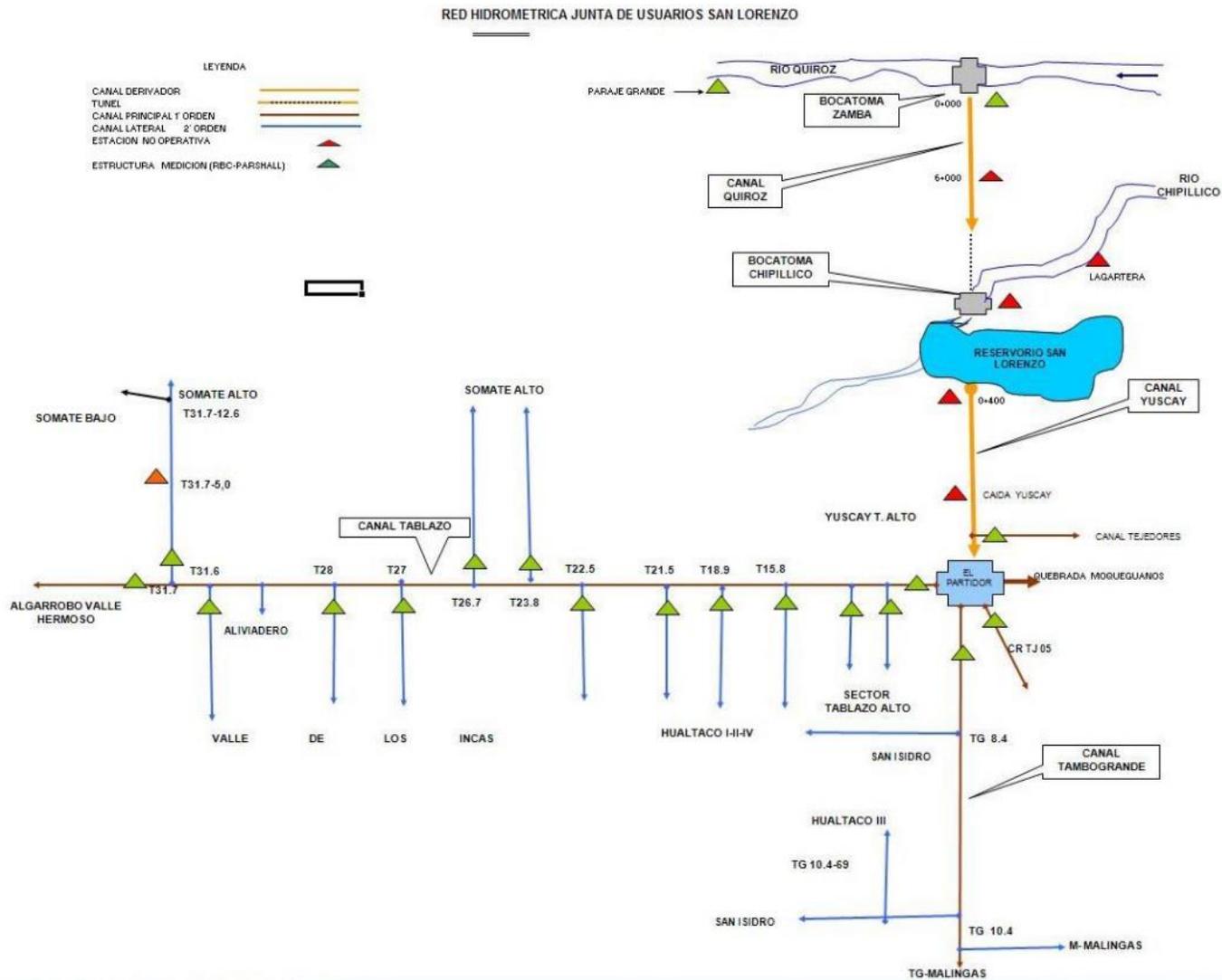


Figura 25. Esquema General Del Sistema Hidráulico San Lorenzo
Fuente: Junta de Usuarios del Distrito de Riego San Lorenzo (2012)

ESQUEMA DE LA RED DE RIEGO DEL SISTEMA MAYOR SAN LORENZO

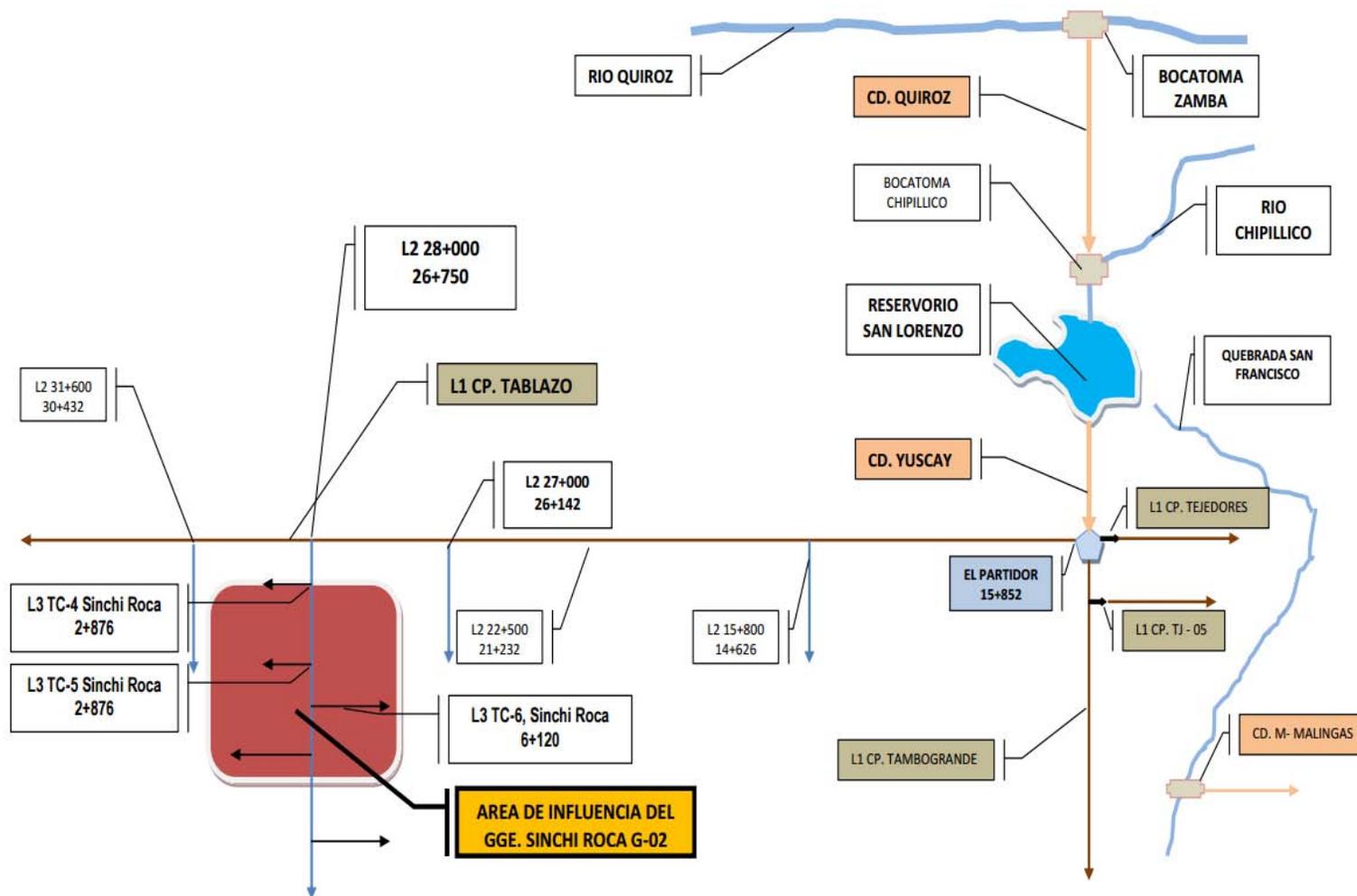


Figura 26. Esquema General Del Sistema Hidráulico San Lorenzo
Fuente: Junta de Usuarios del Distrito de Riego San Lorenzo (2012)

Geográficamente, el ámbito tanto de la ALA⁷ como de la Junta de Usuarios San Lorenzo está dividido en dos Zonas de Riego: la No Regulada (3CUs⁸: Quiroz-Paimas, Quebrada Totoral y Chipillico Alto) que capta aguas directamente del río Quiroz, canal Quiroz, quebrada Totoral y canal Chipillico y la Regulada (13 CUs), que depende del Reservorio San Lorenzo.

En la actualidad la Junta de Usuarios San Lorenzo está dividido en 2 Sub Distritos de riego, los cuales están conformado por 11 Sectores de Riego, 9 sectores corresponden al Sub Distrito de Riego San Lorenzo, con 16 Comisiones de Usuarios (CUs) y 2 sectores al Sub Distrito de Ayabaca, con 13 Comisiones de Usuarios, así como se muestra en la Tabla 12. En la práctica debe mencionarse que las Comisiones de Usuarios del Subdistrito de Riego Ayabaca, no están reconocidas oficialmente, es decir no son administradas formalmente por la ALA San Lorenzo ni por la Junta de Usuarios. (Autoridad Nacional del Agua, 2012)

Tabla 12. Subdistritos, sectores y Comisiones de Usuarios ALA San Lorenzo

Sub Distrito de Riego	Sector de Riego	Comision de Usuarios	Usuarios	Area Total(Ha.)	Area Bajo riego(Ha.)	
Ayabaca	Ayabaca	Joras				
		Sochabamba				
		Cuyas-Cuchayo				
		Yanchala				
		San Vicente-Molino				
		Lanchala-Samangui				
		Toldo-El Hueco				
		Espindola				
		Suyopampa				
		Arraypita-Pingola				
	Montero	Sicchis				
		Jilili				
		Montero				
San Lorenzo	Quiroz	Quiroz-Paimas	911	1 411,50	1321,56	
		Chipillico Alto	263	628,77	392,75	
	Chipillico	Chipillico Bajo	138	792,37	521,87	
		Qda. Totoral-Pampa Elera	447	890,62	677,77	
		Yuscay-Tablazo Alto	409	5 068,93	3 387,64	
	Partidor	Tejedores	160	2 019,25	1 579,72	
		Tj-05	101	848,25	732,73	
		San Isidro I-II	871	9 352,38	6 336,98	
	San Isidro	TG-Malingas	398	4 025,79	3 293,04	
		Malingas	M-Malingas	1 008	4 968,11	3 478,88
	Hualtaco	Hualtaco I-II-IV	1 063	7 069,84	5 597,14	
		Hualtaco III	345	3 071,87	2 041,78	
		Valle de los Incas	Valle de los Incas	1 039	7 274,01	4 493,19
	Somate	Somate Alto	105	6 224,09	997,74	
		Somate Bajo	106	1 221,10	895,34	
	Algarrobo	Algarrobo Valle Hermoso	953	6 029,69	4 125,67	
	Total			8 317	61 076,57	39 873, 81

Fuente: Junta de Usuarios del Distrito de Riego San Lorenzo (2012)

⁷ ALA: Autoridad Local de Agua de San Lorenzo.

⁸ CUS: Comisiones de Usuarios

3.2. Hidrología

3.2.1. Cuenca

El colector principal de las aguas del reservorio San Lorenzo está conformado por el río Quiroz y de menor consideración el río Chipillico, ubicados en las subcuencas llamadas del mismo nombre respectivamente, estas a su vez pertenecen a la cuenca Chira. En la figura 27 se muestra la ubicación del reservorio, el cual se encuentra en la subcuenca del río Chipillico. La descripción de las dos subcuencas han sido explicadas en el capítulo anterior.

3.2.2. Información Hidrometeorológica

La información de este apartado se recopiló del *Manual de operación de casa válvulas San Lorenzo* (2009), del *Afianzamiento del Sistema Hidráulico de la irrigación San Lorenzo* (2009), ambos realizados por la Junta de usuarios del distrito de riego San Lorenzo, y de la página web del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2015).

Las fuentes de abastecimiento del sistema San Lorenzo son las aguas derivadas del río Quiroz, captadas por la bocatoma de Zamba y las aguas del río Chipillico.

El río Quiroz es el recurso hídrico más importante del sistema y prácticamente el único que garantiza ingresos continuos del agua todo el año hacia el sistema San Lorenzo, usando la bocatoma Zamba y el canal Quiroz, con un caudal de 61,8 m³/s que limita los aportes del río Quiroz. Dado que el reservorio se encuentra en la cuenca del río Chipillico prácticamente todo el caudal disponible de la cuenca hasta la presa entra al reservorio. Normalmente no tiene caudales importantes durante gran parte del año, por lo que la operación segura y confiable del sistema depende de los aportes del río Quiroz.

El río Quiroz se encuentra en el norte del Perú en la zona fronteriza con Ecuador y es el afluente más importante del río Chira. A pesar de su importancia y su recurso hídrico significativo para toda la región, hasta la fecha no existen reservorios y represas en su cuenca, que pueden garantizar el uso óptimo de este recurso natural. Las únicas estructuras construidas son la bocatoma Zamba y la bocatoma María Auxiliadora, la primera deriva aguas al sistema San Lorenzo, pero sin posibilidades de regulación y almacenamiento.

Para el futuro está previsto aumentar los volúmenes de aguas que derivará el río Quiroz después de la construcción de varias represas y regulación de las aguas de este río, como la presa Vilcazán y la presa Santa Rosa, las cuales se ubicaran aguas arriba de la bocatoma Zamba, permitiendo ampliar la frontera agrícola en 7 693 ha e incrementar la intensidad del uso de la tierra en 13 382 ha, así como la generación de energía eléctrica de 10,20 MW.

La información hidrológica disponible en la JUSHAL sobre niveles y aforos de caudales de la cuenca del río Quiroz y río Chipillico se recopila a través de las estaciones de Zamba, Paraje Grande y Lagartena, esta última ya no existe debido al fenómeno del niño del año 83. Dicha información es registrada y utilizada por la JUSHAL para la correcta operación del reservorio. Existen otras estaciones operativas en la cuenca pero estas son operadas por el SENAMHI.

A continuación se muestran las Tablas 13 y 14 que nos dan a conocer el estado de las estaciones, las cuales se encuentran en la cuenca Chipillico y Quiroz, y su categoría: Pluviométricas-Pluviográficas (PLU-PG), Pluviométricas (PLU), Meteorológicas (M) o Hidrométricas (H), y si están operativas o cerradas.

Tabla 13. Estaciones Hidrometeorológicas en la Cuenca Chipillico

N	Estación	Ubicación Geográfica		Cuenca	Coord. Geograf.		Altitud m.s.n.m	Categoría	Entidad que opera	Estado
		Provin.	Distr.		Latitud	Longit.				
1	Arrendamientos	Ayabaca	Lagunas	Chira	04°50'	79°54'	3010	PLU-PG	SENAMHI	Cerrada
2	Frias	Ayabaca	Frias	Chira	04°56'	79°51'	1700	PLU	SENAMHI	Cerrada
3	Las Pircas	Ayabaca	Frias	Chira	04°59'	79°48'	3300	PLU	SENAMHI	Cerrada
4	Lagartera	Ayabaca	Sapillico	Chira	04°44'	79°58'	307	H-PLU	JUSHAL	Cerrada
5	Sapillica	Ayabaca	Sapillico	Chira	04°47'	79°59'	1406	PLU	SENAMHI	Operativa
6	Alto de Poclus	Ayabaca	Frias	Chira	04°55'	79°53' 5''	3070	M	SENAMHI	Operativa

Fuente. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2015

Tabla 14. Estaciones Hidrometeorológicas en la Cuenca Quiroz

N	Estación	Ubicación Geográfica		Cuenca	Coord. Geograf.		Altitud m.s.n.m	Categoría	Entidad que opera	Estado
		Provin.	Distr.		Latitud	Longit.				
1	Ania Cabuyal	Ayabaca	Ayabaca	Chira	04°51'	79°29'	2450	PLU	SENAMHI	Cerrada
2	Aranza	Ayabaca	Sapillico	Chira	04°51'	79°35'	2001	PLU-PG	SENAMHI	Cerrada
3	Laguna Seca	Ayabaca	Ayabaca	Chira	04°53'	79°29'	1952	PLU	SENAMHI	Cerrada
4	Las Arrebiatadas	Ayabaca	Ayabaca	Chira	04°45'	79°28'	3450	PLU	SENAMHI	Cerrada
5	Los Encuentros	Sullana	Lancones	Chira	04°26'	80°17'	150	H	SENAMHI	Cerrada
6	Montero	Ayabaca	Montero	Chira	04°38'	79°50'	1070	PLU-PG	SENAMHI	Cerrada
7	Nangay Matalacas	Ayabaca	Pacaipampa	Chira	04°52'	79°46'	2124	PLU-PG	SENAMHI	Cerrada
8	Olleros	Ayabaca	Ayabaca	Chira	04°42'	79°39'	1482	PLU-PG	SENAMHI	Cerrada
9	Pacaypampa	Ayabaca	Pacaipampa	Chira	04°59'	79°40'	2315	M	SENAMHI	Operativa
10	Paimas	Ayabaca	Paimas	Chira	04°37'	79°57'	545	PLU	SENAMHI	Cerrada
11	Palo Blanco	Ayabaca	Pacaipampa	Chira	05°03'	79°38'	2736	PLU-PG	SENAMHI	Cerrada
12	Paraje Grande	Ayabaca	Montero	Chira	04°37'	79°54'	555	H-PLU	PECHP	Operativa
13	Pico de Loro	Ayabaca	Suyo	Chira	04°32'	79°52'	1325	PLU	SENAMHI	Cerrada
14	San Juan de Los Alisos	Ayabaca	Pacaipampa	Chira	04°58'	79°32'	2150	PLU-PG	SENAMHI	Cerrada
15	Suyo	Ayabaca	Suyo	Chira	04°32'	80°00'	250	PLU	SENAMHI	Cerrada
16	Talaneo	Ayabaca	Pacaipampa	Chira	05°03'	79°33'	2965	PLU-PG	SENAMHI	Cerrada
17	Tapal	Ayabaca	Ayabaca	Chira	04°46'	79°33'	1550	PLU-PG	SENAMHI	Cerrada
18	Tipulco	Ayabaca	Ayabaca	Chira	04°42'	79°34'	2600	PLU	SENAMHI	Cerrada
19	Toma Zamba	Ayabaca	Paimas	Chira	04°40'	79°54'	585	H-PLU	JUSHAL	Operativa
20	Sausal de Culucan	Ayabaca	Lagunas	Chira	04°45' 45''	79°46' 46''	1015	PLU	SENAMHI	Operativa
21	Ayabaca	Ayabaca	Ayabaca	Chira	04°38' 38''	79°43' 43''	2830	PLU	SENAMHI	Operativa

Fuente. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2015

En la Figura 28 se muestra el mapa del Perú, en el cual se señala la ubicación del reservorio y de las zonas de ubicación de las subcuencas. Y las figuras 29 y 30 nos muestran la ubicación de las estaciones.

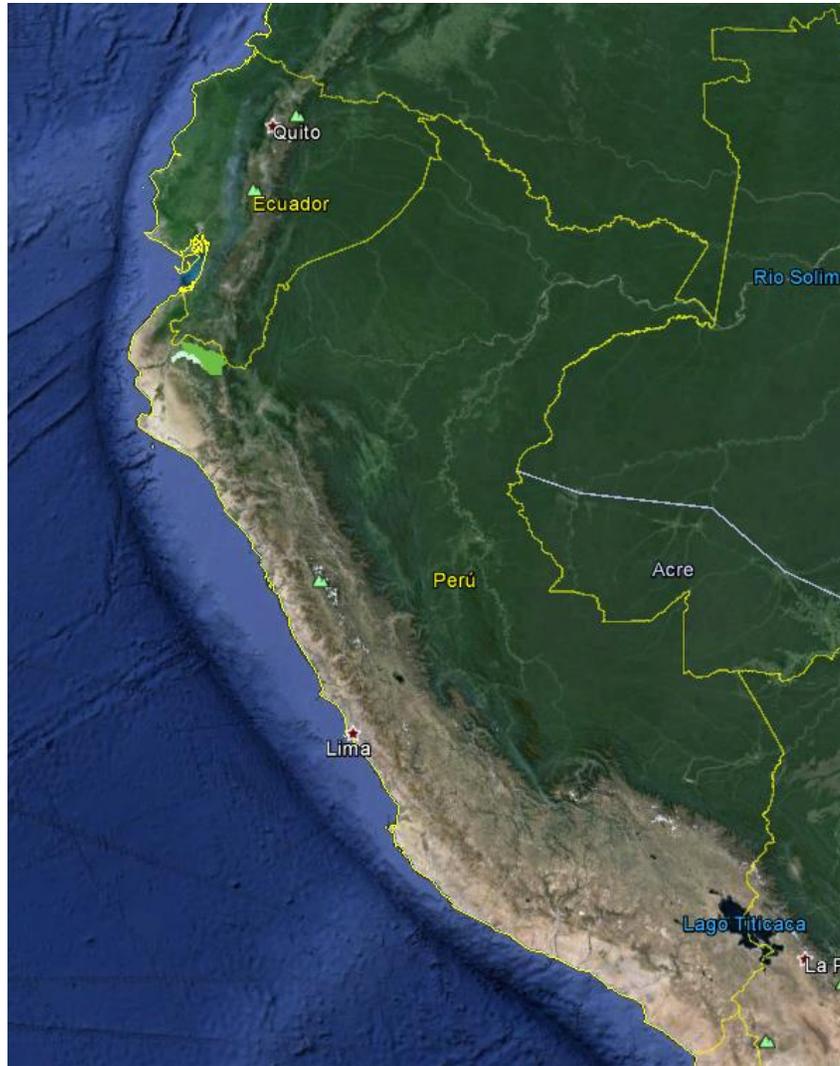


Figura 28. Ubicación geográfica de las Subcuenca Chipillico (verde claro) y Subcuenca Quiroz (verde oscuro).
Fuente: Google earth.



Figura 29. Ubicación geográfica de las estaciones hidrometeorológicas cerradas en la cuenca Chira (Subcuenca Chipillico y Quiroz).
 Fuente SENAMHI y Google earth.(2015)

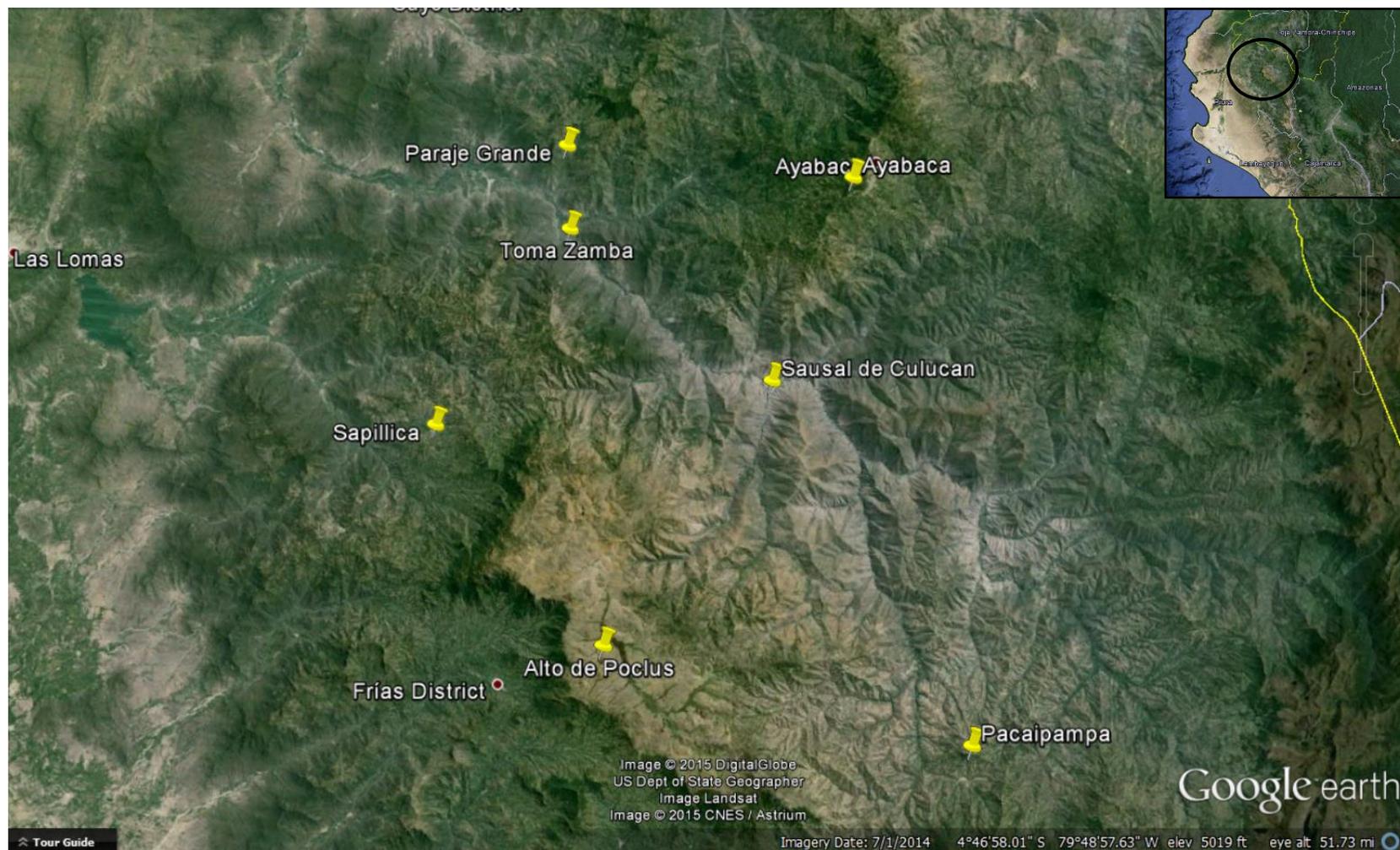


Figura 30. Ubicación geográfica de las estaciones hidrometeorológicas operativas en la cuenca Chira (Subcuenca Chipillico y Quiroz)

Fuente SENAMHI y Google earth (2015).

Es importante señalar, que todas las estaciones, excepto Paraje Grade, fueron manejadas por la Dirección Ejecutiva del Proyecto Especial Chira-Piura (DEPECHP) desde su instalación hasta el 31 de enero de 1993, fecha en la que fueron transferidas al Servicio de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Este organismo, decidió no seguir operándolas. Cabe resaltar que en la actualidad la estación Paraje Grande sigue siendo operada y es manejada por el PECHP.

3.3. Hidráulica

Para el desarrollo de este apartado se ha obtenido información del informe del *Manual de operación de casa válvulas*, elaborado por la Junta de Usuarios del Distrito de Riego San Lorenzo en el 2009.

Las obras de la presa San Lorenzo, que pertenecen a la II Etapa del Sistema de derivación y riego del río Quiroz, fueron construidas entre los años 1952 y 1958.

Cabe resaltar que durante más de cuarenta años de explotación, el equipo hidromecánico y eléctrico no ha recibido prácticamente ningún mantenimiento preventivo, limitándose el personal a actuar solamente en casos de desperfectos o fallas, que se reparaban con recursos disponibles, muchas veces sin criterio técnico adecuado e improvisando las soluciones. La concepción de diseño y de funcionamiento, los parámetros técnicos y modalidad de fabricación e instalación del equipo hidromecánico y eléctrico, corresponden a la tecnología de aquella época.

Por lo tanto, hay bastantes componentes y partes del equipo que no están operativas o se encuentran en estado poco confiable, representando peligro inminente para el personal y la Obra. (Junta de usuarios del distrito de riego San Lorenzo, 2009).

3.3.1. Reservorio de San Lorenzo

El reservorio San Lorenzo ubicado a 115 Km. al Noreste de la ciudad de Piura sobre el lecho del río Chipillico, en el distrito de Las Lomas, en la provincia y departamento de Piura, en el lugar denominado Los Cocos, es el cuerpo de agua generado por la captación de aguas del río Chipillico y las aguas del río Quiroz, cerrando un cañón natural formado por los cerros: Beltrán y San Lorenzo mediante la presa del mismo nombre; con la finalidad de regular los caudales estacionales no uniformes de dichos ríos, garantizando suministro de aguas para riego según la distribución de la demanda mensual establecida por las Comisiones de Usuarios.

El reservorio tiene una profundidad de 38 m, la cota de fondo está ubicada en 252 m.s.n.m. y la cota del pelo de agua de 290 m.s.n.m., tiene una longitud de cresta de 780 m y en la base en la parte más ancha es de 280 m, su sistema de apertura ubicado en la caseta de válvulas se encuentra en estado operativo, habiéndose cambiado las dos válvulas Howell Bungler y la válvula de mariposa recientemente.

El reservorio beneficia a 36 959,96 ha de 13 CUs que conforman el sistema regulado, y 3 CUs del sistema no regulado Quiroz-Paimas, Chipillico Alto, Chipillico Bajo y Quebrada Totoral-Pampa Elera, que suman 2 913,95 ha.

En la Figura 31 se muestra una vista general del reservorio San Lorenzo.



Figura 31. Reservorio San Lorenzo
Fuente: Tamara Saavedra a través de Google (2013)

Fue puesto en servicio en el año 1960 y su capacidad inicial de diseño fue de un volumen bruto de 258 MMC con una capacidad útil de 255 MMC; según el Ingeniero Miguel Arica Enriquez, asistente de la sugerencia de operación mantenimiento y desarrollo de infraestructura hidráulica, en la actualidad el reservorio tiene una capacidad para almacenar 201 MMC, de los cuales el volumen útil es de 171 MMC.

La presa San Lorenzo, cuando alcanza su máxima cota de 290 m.s.n.m. (38 m de altura) crea un embalse con una capacidad de 201 MMC, la capacidad útil de 171 MMC y un volumen de reserva técnica de 30 MMC, de los cuales 3 MMC son volumen muerto. El nivel del volumen muerto está en la cota 273 m.s.n.m. A continuación se presenta un resumen del reservorio en la Tabla 14 y la capacidad del embalse en relación al nivel de agua en la presa en la Tabla 15.

Tabla 14. Volúmenes y niveles de operación del reservorio

Volumen del Embalse	MMC
Volumen Útil	171
Volumen de Reserva Técnica	30
Volumen Muerto	3
Volumen Almacenado	201
Niveles de agua	m.s.n.m
Nivel normal del embalse	290
Nivel mínimo de embalse	273
Nivel de coronación de la represa	295

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 15. Capacidad del embalse en relación al nivel de agua en la presa

Cota	252	273	278	282	284	286	288	290
Volumen MMC	0	30	61	97	119	144	171	201
Volumen útil MMC	0	0	31	67	89	114	141	171

Fuente: Elaboración Propia.

El área total del embalse es lo mismo que la superficie del espejo de agua que es 15 459 029,12 m² o 15,46 km² (a la cota 290.00 m.s.n.m.).

En la Figura 32 se muestra los elementos del reservorio San Lorenzo.

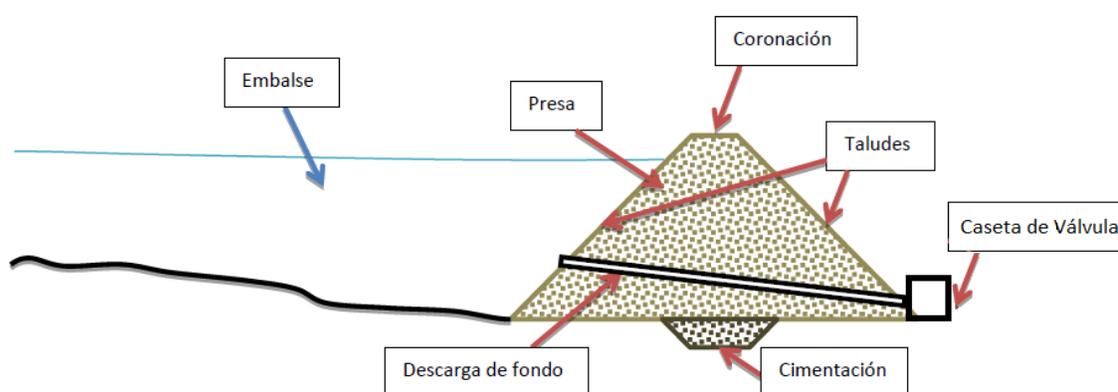


Figura 32. Elementos del Reservorio

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Aliviadero de compuertas

Aliviadero Maray

El vertedero de demasías se encuentra ubicado en la zona de Maray, en el extremo suroeste del reservorio San Lorenzo. Es una estructura de concreto armado que permite la evacuación de excesos en el reservorio, sobre la elevación máxima de operación normal.

El aliviadero tiene 120 m. de largo, cimentada en roca del tipo de flujo libre por rebose sobre su cresta que alcanza la cota 290 m.s.n.m. Por encima de este nivel, las aguas rebasan la cresta y descargan hacia la quebrada San Francisco, que las entrega luego al río Piura.

La capacidad máxima de diseño del vertedero de excedencias es 1500 m³/s con la cota del reservorio de 290 m.s.n.m. y fue puesto en servicio en 1960 (Junta de usuarios del distrito de riego San Lorenzo, 2009).

En la Figura 33 se muestra la ubicación y vista del aliviadero Maray.



Figura 33. Ubicación y vista del aliviadero Maray
Fuente: Junta de Usuarios del Distrito de Riego de San Lorenzo (2012)

3.3.3. Presa San Lorenzo

Es una presa de gravedad tipo tierra de sección trapezoidal, ubicada sobre el lecho del Río Chipillico, es la infraestructura hidráulica principal del sistema regulador del mismo nombre, fue construida durante la segunda etapa de la irrigación San Lorenzo entre los años 1952 y 1958, permitiendo poner bajo riego 35 mil ha más de tierras.

Sus coordenadas UTM son: inicio 9482750 Norte y Este 0687950; y final son: 9477150 Norte y 0593750 Este.

La presa tiene una casa de válvulas situada bajo el eje longitudinal de la presa San Lorenzo, de forma semejante a medio cilindro, su bóveda es de 8,2 m de radio, totalmente revestida en concreto armado, que en su base tiene un espesor mínimo de 1,5 m. En esta cámara está instalada la válvula de mariposa de alta presión, fabricada en Alemania por la Dortmunder Unión, y que controla las aguas del reservorio. La válvula de mariposa, de eje vertical, abre mediante dos servomotores que accionan presión a la parte superior del eje. La presión hidráulica es de 50 Atmósferas (50 kg/cm²) generada por un acumulador de instalación remota en la casa de válvulas, a 130 m. de distancia. El cierre de la válvula se efectúa mediante un contrapeso de 18 ton también conectado mediante cables y poleas a la parte superior del eje de la mariposa.

La presa tiene una descarga de salida de fondo para un caudal máximo hasta de 50 m³/s, extendiéndose desde la torre de toma sumergida en el embalse hasta la entrega de agua al pozo de disipación de energía. Asimismo la estructura cuenta con dos obras conexas ubicadas aguas abajo hasta la entrada al canal principal Yuscay.

La Presa tiene una sola salida de agua, que se utiliza exclusivamente para fines de riego, aunque el diseño original había previsto la posibilidad de futuro desarrollo energético, el cual no se puede realizar porque en San Lorenzo existe una capacidad limitada del reservorio y por ello se debe cortar la salida de agua en ciertos momentos del año. Si existiera una central hidroeléctrica en aquellos cortes se dejaría de producir energía, lo cual no es beneficioso. Caso contrario si siempre se mantiene el flujo de agua para generar energía, se desperdiciaría el agua ya que los agricultores no siempre necesitan agua y por ende no alcanzaría el agua para todas las cosechas en el año, viendose perjudicados.

La Salida de fondo comprende las siguientes estructuras:

- Torre de toma y túnel de ingreso
- Cámara de válvulas y túnel de salida
- Casa de válvulas

La salida de fondo termina con la entrega de agua al colchón amortiguador.

Fue puesta en servicio en 1960 y capacidad de descarga de salida de fondo es para un caudal máximo hasta de 50 m³/s. A continuación se muestra en la Tabla 16 las características principales de la presa.

Tabla 16. Características principales de la Presa

N	DESCRIPCIÓN	
1	Altura máxima de la Presa	57 m.
2	Longitud de cresta	780 m.
3	Ancho de cresta	8 m.
4	Cota de corona	295 m.s.n.m.
5	Proteccion de taludes	Enrocado
6	Nivel máximo normal del embalse	290.00 m.s.n.m.
7	Área de embalse	15,46 km ² (a la cota 290.00 m)
8	Volumen del embalse con la cota máxima normal	201 MMC

- Taludes: 2.25:1(El talud de aguas arriba tiene dos niveles intermedios horizontales sobre las cotas 278.00 m. y 265.00 m., cada uno de 15.00 m. de ancho).

Para completar el contorno de embalse, existen tres (03) diques de cierre, en el lado izquierdo del reservorio, construidos de arcilla compactada, de sección transversal trapezoidal, protegidos con enrocado en ambos taludes. Asimismo, existen dos (02) diques de cierre y protección (diques de Cerezal) en la zona de acueducto cerrado del Canal Chipillico.

3.3.4. Bocatomas

Esta información ha sido recopilada del *Manual Operación y Mantenimiento Obra San Lorenzo*, realizado por la empresa consultora NIPPON KOEI LAC (2009).

a. Bocatoma Zamba

La bocatoma Zamba está ubicada en el cauce del río Quiroz, se opera con un caudal de $61,8 \text{ m}^3/\text{s}^9$ hacia el canal del mismo nombre que se ubica en la margen izquierda, que conduce el agua hasta la quebrada Totoral, la misma que la entrega al río Chipillico donde está ubicada la represa San Lorenzo.

En la Figura 34 se muestra la infraestructura que tiene los siguientes componentes:

- Un barrage fijo
- Un Barraje Móvil
- Un canal y compuerta de limpia de sedimentos
- Una estructura de derivación

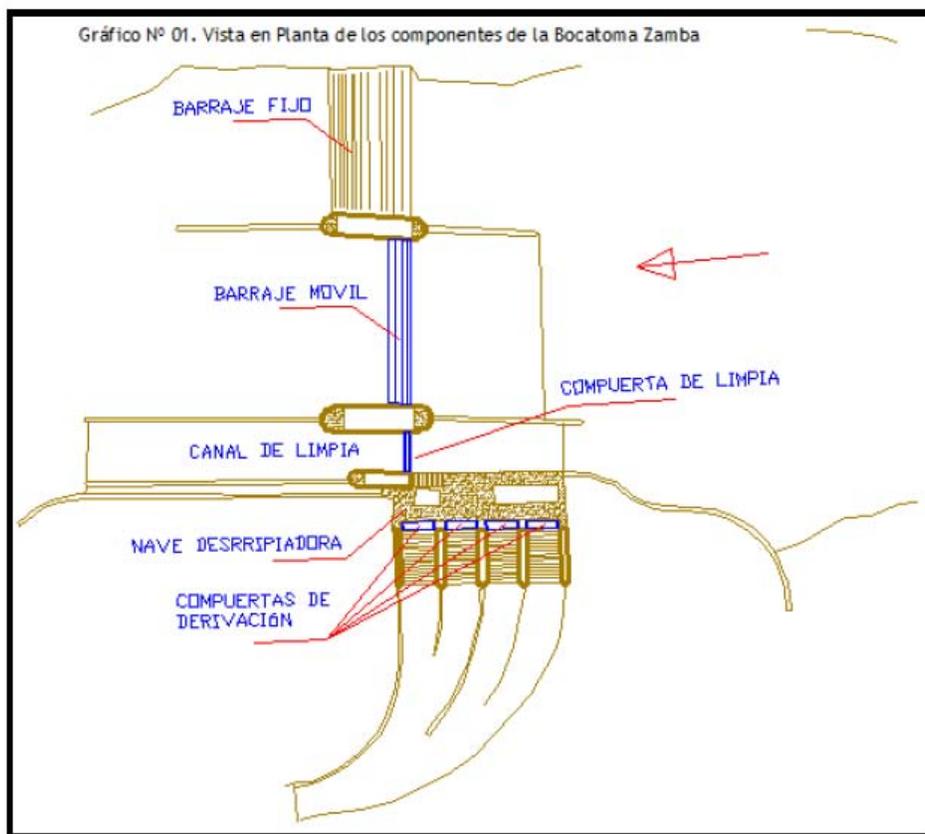


Figura 34. Vista en Planta de los componentes de la Bocatoma Zamba
Fuente: Junta de Usuarios del Distrito de Riego de San Lorenzo (2009)

⁹ Originalmente fue diseñada para derivar un caudal de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. En ocasiones se han derivado hasta $65 \text{ m}^3/\text{s}$, por este motivo los taludes del canal Quiroz se elevaron para soportar este incremento de caudal.

Aguas arriba de la bocatoma Zamba se encuentra la bocatoma María Auxiliadora. Esta estructura es la primera que funciona como estructura de retención sedimentos, se dice que es la primera debido a que la bocatoma zamba también era parte de las estructuras que permitía la retención de sedimentos con su desarenador, pero en la actualidad no se encuentra en funcionamiento, solo es la bocatoma María Auxiliadora aquella que permite retener sedimentos aguas arriba de la bocatoma Zamba.

b. Bocatoma Chipillico

Es una infraestructura de concreto armado y su función es captar las aguas derivadas tanto del río Quiroz que ingresan por la Quebrada Totoral, como las aguas del Río Chipillico. Está ubicada en el cauce del Río Chipillico, aguas arriba del reservorio San Lorenzo, en la intersección de las coordenadas UTM 0598022 Este y 9479225 Norte, a una altitud de 375 m.s.n.m.

Abastece al Canal Chipillico, ubicado en la margen izquierda del río Chipillico, también conocido por el nombre de Canal Huachuma. La estructura está conformada por un barraje fijo y por otro móvil con dos compuertas radiales, las cuales están ubicadas sobre una losa de concreto. En el año 2007 la estructura fue dañada en uno de sus dos aliviaderos móviles, por lo cual sólo trabaja con una compuerta para descargar el recurso hacia aguas abajo.

Fue puesta en servicio en 1953 y su caudal de diseño es $50\text{m}^3/\text{s}$; caudal actual de operación es $1,5\text{m}^3/\text{s}$. A continuación en la figura 35 se muestra la ubicación y la vista de la bocatoma Chipillico.



Figura 35. Ubicación y Vista de la Bocatoma Chipillico
Fuente: Junta de Usuarios del Distrito de Riego de San Lorenzo (2009)

3.3.5. Sistema actual de operación

La información detallada a continuación se recopiló del *Manual de operación de casa válvulas*, realizado por la Junta de usuarios del distrito de riego San Lorenzo (2009), el elemento más importante del Sistema San Lorenzo es el reservorio San Lorenzo que regula gran parte del agua disponible, para suministrarla a los usuarios durante las campañas de riego. La capacidad inicial del reservorio fue de 258 MMC mientras que la capacidad actual es cerca de 201 MMC como resultado de la colmatación.

En el sistema San Lorenzo frecuentemente ocurren diversos problemas como son:

- a. Dificultades en la definición de la siembra anual óptima (áreas bajo riego, tipo de cultivos, demanda de agua), como función de la disponibilidad real del recurso hídrico que varía cada año.
- b. Frecuentes restricciones de suministro de agua a los usuarios, como consecuencia de reducciones imprevistas de los volúmenes de agua regulados en el reservorio San Lorenzo.
- c. Considerables pérdidas económicas en los cultivos sembrados como consecuencia de las reducciones imprevistas y frecuentes del recurso hídrico.
- d. Limitaciones en el desarrollo futuro del Sistema por falta del recurso hídrico.
- e. Restringida o bastante reducida la producción en algunos sectores del Sistema.

Los problemas actuales del sistema San Lorenzo son similares a otros sistemas en diferentes partes del mundo, es decir, existe un desbalance entre la disponibilidad del recurso hídrico y la demanda agrícola. Afortunadamente en muchos sistemas similares, especialmente en los países desarrollados, este problema se puede controlar y mejorar, implementando métodos modernos en el manejo de los sistemas hídricos.

En este sentido el mejoramiento de la operación del sistema San Lorenzo se puede lograr:

- a. Mejorando la eficiencia del sistema de conducción y distribución del agua.
El mejoramiento de la eficiencia de las redes de conducción y distribución del agua se puede lograr con:
 - Reconstrucción de los sistemas de conducción de agua.
 - Mejoramiento de la gestión de agua.
 - Disminución de las pérdidas de agua en los sistemas de conducción y distribución.
 - Aumento de la eficiencia de riego.
- b. Mejorando la gestión y el manejo del agua.

La gestión y manejo del agua son elementos que influyen de manera significativa en el aumento de la disponibilidad del recurso hídrico, teniendo en cuenta que el manejo y gestión no adecuada, pueden provocar pérdidas adicionales del recurso hídrico que no depende directamente del estado actual del Sistema y del estado de las redes de conducción y distribución, sino únicamente de la eficiencia del sistema de manejo del

reservorio San Lorenzo en el tiempo real. Este tipo de operación incluye la medición de todos los parámetros que incidan en la operación real del sistema, de los cuales los más importantes son: la disponibilidad del recurso hídrico, demanda real diaria, semanal y mensual de cada usuario, recopilación y análisis de los datos medidos, pronosis (pronóstico o predicción) de los aportes del sistema y simulación matemática de la operación de cada elemento del sistema.

Por otro lado, el manejo y gestión del agua se podría mejorar notablemente si se llegará a conocer la verdadera demanda de los agricultores, hasta tal punto de realizar operaciones de limpieza utilizando la misma energía del agua.

c. Aumentando la disponibilidad del recurso hídrico a ser usado.

El aumento de la disponibilidad del recurso hídrico para el reservorio San Lorenzo también es posible, dado que este embalse se alimenta a través del río Quiroz y Canal de derivación, aprovechando cerca de 65% del volumen anual promedio disponible del río Quiroz. El aumento de la disponibilidad del recurso hídrico se puede lograr elevando la capacidad de la bocatoma Zamba en el río Quiroz y del canal de derivación y/o construyendo uno o dos embalses en la cuenca alta del río Quiroz. La construcción de estos embalses y presas se puede aprovechar al mismo tiempo para la generación de la energía eléctrica. La construcción de estos embalses también tendría un impacto positivo en el manejo y operación del sistema San Lorenzo, y también beneficiaría al reservorio Poechos.

Es importante mencionar que de las posibilidades analizadas, las dos primeras se pueden aplicar inmediatamente después de la terminación de los estudios correspondientes, mientras que la tercera puede mejorar la operación real del sistema San Lorenzo solo después de la construcción de las obras necesarias, que tendrá un plazo no menor de cinco años. Al mismo tiempo es lógico que la solución óptima incluye la incorporación de todas las mejoras analizadas en todas las alternativas, maximizando los beneficios para todos los usuarios.

La operación óptima del Sistema San Lorenzo depende directamente del manejo correspondiente del reservorio en función de los aportes disponibles del río Quiroz y río Chipillico y la demanda real de todos los usuarios. El objetivo principal del manejo óptimo es satisfacer la demanda de todos los usuarios de tal manera que el recurso hídrico se usa con los beneficios máximos para cada usuario y para toda la región.

El manejo óptimo depende de los análisis y los conocimientos de tres factores principales:

- Aportes naturales del río Quiroz y río Chipillico.
- Demanda real de cada usuario.
- Posibilidades de regulación del reservorio San Lorenzo.

Actualmente el sistema de derivación del río Quiroz está operado por la Junta de Usuarios Sistema Hidráulico Menor San Lorenzo (JUSHAL), en base a los siguientes objetivos principales:

- a. Con respecto al almacenamiento, operar el embalse correctamente con respecto a la hidrología, hidráulica, sedimentación y sobre todo con respecto a las demandas para la distribución, permitirá al reservorio tener el agua suficiente para las campañas agrícolas, disponiendo adecuadamente de los recursos hídricos del río Quiroz y del río Chipillico.
- b. Con respecto a la distribución, suministrar el agua de riego a las tierras de la colonización San Lorenzo en caudales necesarios según el programa de riego acordado en la Junta de Usuarios.

Se pueden distinguir tres períodos de operación actual:

- El período de descargas altas (Enero – Mayo) de orden de 25 m³/s en promedio que sirven para el riego.
- El periodo de descargas medianas (Junio – Julio) de orden de 16 m³/s en promedio.
- El período de descargas pequeñas (Agosto – Diciembre) de orden de 12,2 m³/s en promedio.

En el tercer periodo pueden ocurrir problemas en el suministro de agua para producción agrícola por escasez de recursos en el sistema San Lorenzo. En este caso el problema se resuelve parcialmente con descargas periódicas, de aproximadamente dos semanas de duración, seguidas de períodos de corte de riego de 10 – 14 días de duración.

3.4. Sedimentología

Para el desarrollo de este capítulo se ha empleado el *Informe batimétrico del 2008*, realizado por la Junta de Usuarios del Distrito de Riego San Lorenzo (2008) y del *Capítulo IV Análisis de la oferta y demanda de agua en la cuenca y del estado de infraestructura hidráulica principal, obtenido del Plan maestro de gestión integrada de los recursos hídricos en las cuencas hidrográficas de la región Piura*, realizado por la Autoridad Nacional del Agua (2012). La JUSHAL solo cuenta con un informe batimétrico del reservorio del año 2008, debido a que informes previos han sido extraviados.

3.4.1. Batimetría hasta el 2008

El primer estudio de batimetría realizado en el reservorio San Lorenzo se hizo en el año 1987, 28 años después de su puesta en funcionamiento, en el que se encontró que en el reservorio se habían depositado 35.363 MMC de sedimentos.

El segundo estudio de batimetría se realizó en el año 1998, estudio del cual no se dispone de información, pero se conoce que el volumen útil estimado en ese año era de 192.8 MMC (Vega N. 1998, citado por ATA 2002).

En el año 2004, la Junta de Usuarios del Distrito de Riego San Lorenzo realizó por contrato el estudio de batimetría, el cual no fue realizado correctamente según la JUSHAL.

Sin embargo la JUSHAL, solo cuenta con el estudio batimétrico del 2008, y con ese estudio se puede determinar que la acumulación de sedimentos en el vaso del reservorio estuvo de acuerdo a lo previsto y supero las expectativas de vida útil ya que actualmente tiene más de 50 años (55 años exactamente). Con los fenómenos ocurridos en los años 1983 y 1998, el depósito de sedimentos no se incrementó en forma acelerada como si lo hizo en el reservorio de Poechos.

A continuación se presenta el estudio batimétrico del año 2008:

En el marco del Convenio de Cooperación Interinstitucional, suscrito entre el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) y la Junta de Usuarios del Distrito de Riesgo de San Lorenzo (JUDRSL); la Intendencia de Recursos Hídricos (IRH), programa la ejecución del levantamiento batimétrico del reservorio San Lorenzo; actividad que fue ejecutada en dos etapas:

- Del 08 de febrero al 12 de marzo del 2008, periodo donde los trabajos batimétricos se realizan con el reservorio parcialmente lleno (nivel del espejo de agua 279.50 m.s.n.m.) y la topografía correspondiente.
- Del 05 al 12 de mayo del mismo año, donde se efectúan las actividades batimétricas complementarias en condiciones de reservorio lleno (nivel máximo de represamiento 290.00 m.s.n.m.).

La batimetría del reservorio San Lorenzo, permite disponer de toda la información necesaria, para planificar los programas de regulación, un mejor manejo y conservación de la disponibilidad del recurso hídrico así como la evolución de los volúmenes de sedimentación, que influye y afecta directamente al volumen útil y a las operaciones de la estructura hidráulica de descarga. (Junta de usuarios del distrito de riego San Lorenzo, 2012)

A continuación se detalla cómo se realizó el levantamiento topográfico y batimétrico, y el proceso de medición, los cuales fueron recopilados del estudio de batimetría del reservorio:

- Levantamiento Topográfico

En una primera etapa, se realizó el acopio de la información existente, respecto a los trabajos anteriormente ejecutados, también se hizo un reconocimiento general de la zona para la ubicación de los puntos de cambio, encontrándose un BM ubicado frente a la casa de válvulas, sobre el muro derecho del canal de descarga, este punto de referencia se encuentra enchapado en bronce con la denominación MF, y de acuerdo a los datos obtenidos del archivo digital (batimetría 2004), este BM tiene las coordenadas siguientes: 589114.85 E, 9483436.65 N y una Cota de 248.00 m.

Posteriormente se realizó el levantamiento a detalle de la estructura hidráulica presa de tierra (talud aguas abajo y talud aguas arriba, éste último, por encima del nivel del espejo de agua).

El levantamiento topográfico general del reservorio San Lorenzo, se realizó utilizando una Estación Total TOPCON modelo GPT 7000L, cuyas características nos indican una precisión de $\pm (2\text{mm} + 2\text{ppm} \times D)$.

- Levantamiento Batimétrico

El método empleado para el levantamiento batimétrico del Reservorio San Lorenzo, mostrado en la Figura 36, fue el de registro continuo; se empleó la ecosonda graficadora digital GPSMAP 188C SOUND, cuya información de profundidades fue comprobada con lecturas de repetición.

Para el registro de las profundidades, empleamos la opción automática y manual del GPSMAP, configurada para lecturas en tiempo real a cada 20m. Esta ecosonda, opera basándose en el principio del eco, desde el transreceptor, ubicado en el transductor, de donde es emitido un pulso ultrasónico que se propaga en el agua a una velocidad de 1400 m/seg (para depósitos de agua con baja salinidad), al llegar al fondo se refleja en él, retornando al transductor y la unidad transreceptora, midiendo automáticamente el tiempo que demora el eco en ser recibido. Conociendo la velocidad de propagación y el tiempo que demora el recorrido, se determina la distancia recorrida por la onda.

Las líneas principales de sondaje para este levantamiento batimétrico, se desarrollaron tratando de que en cada línea levantada quede graficada correctamente cómo disminuye la profundidad en la medida que la embarcación se aproxima a la orilla. (Junta de usuarios del distrito de riego San Lorenzo, 2012).



Figura 36. La figura que está ubicada a la izquierda, muestra el personal técnico y de apoyo, realizando los trabajos batimétricos en el Reservorio San Lorenzo, y la de la derecha, muestra el recorrido transversal de seccionamiento en el espejo de agua, registrado por la Ecosonda GPS Map 188C.

Fuente: Junta de Usuarios del Distrito de Riego San Lorenzo (2008)

- Proceso de Medición:

Se ubicaron secciones transversales aproximadamente a cada 50 m, a lo largo de los flancos del reservorio, representados con hitos rústicos y temporales; posteriormente se hicieron barridos longitudinales, registrándose un total de 21534 puntos batimétricos.

Se densificó los puntos de las mediciones batimétricas, donde se detectaban variaciones bruscas de profundidad.

Conclusiones y Recomendaciones de la Batimetría

Las conclusiones y recomendaciones que se mencionan a continuación fueron resultados de la Batimetría del Reservorio San Lorenzo en el Año 2008:

- a. El resultado general, de la batimetría realizada en el reservorio San Lorenzo, es como sigue:
 - Volumen máximo de regulación: 201 174 372,33 m³.
 - Profundidad máxima : 38.00 m (Cotas 252.00 m.s.n.m. – 290.00 m.s.n.m.).
 - Superficie del espejo de agua : 15 459 029,12 m² (a la cota 290.00 m).
- b. La profundidad máxima de 38.00 m, comprendida entre las cotas 252.00 m.s.n.m. y 290.00 m.s.n.m., ha sido registrada en la zona de emplazamiento de la estructura hidráulica de descarga sumergida del reservorio, en la cercanía del talud aguas arriba de la presa de tierra.
- c. La cota máxima de represamiento es la 290.00 m.s.n.m., que corresponde al nivel máximo de la corona del aliviadero y que coincide con el último escalón de las graderías de medición de niveles, ubicadas estas últimas en el extremo izquierdo del talud aguas arriba de la presa de tierra.
- d. Debe realizarse periódicamente los trabajos batimétricos en el reservorio San Lorenzo, para conocer la evolución del almacenamiento de los sedimentos y la pérdida del volumen útil, teniendo en consideración además, que la estructura hidráulica de descarga se encuentra sumergida, y expuesta a ir perdiendo progresivamente su capacidad operativa.

- e. Debe ser identificado y monumentado el límite perimetral del reservorio a la cota 290.00 m.s.n.m., sobre todo en la zona posterior, donde la densa cobertura arbórea y los límites con terrenos privados, hacen confusa la verdadera extensión y obstaculizan los trabajos topográficos y batimétricos.
- f. Para posteriores trabajos topográficos y batimétricos, además de las consideraciones de la recomendación anterior, convendría, que se retiren los cercos de madera y las alambradas interiores del reservorio (zona posterior); así como prever la paralización temporal de las actividades de pesca, cuyas operaciones extractivas se realizan habitualmente, extendiendo sus redes de grandes dimensiones y en todas direcciones; aspectos que dificultan en gran medida los trabajos.

3.4.2. Capacidad inicial y actual del embalse

La capacidad del reservorio San Lorenzo no ha sido afectada como en la colmatación del reservorio Poechos, debido a que el 90% del caudal que llega al reservorio San Lorenzo es del río Quiroz, agua que es captada por la Bocatoma Zamba con una capacidad de diseño de $61,8 \text{ m}^3/\text{s}$, es por ello que al haber un caudal pequeño, en comparación al caudal captado durante las máximas avenidas en Poechos, la cantidad de sedimentos transportados es menor. Y como ya se ha mencionado existe una estructura hidráulica aguas arriba de la bocatoma Zamba, la bocatoma María Auxiliadora, estructura que presenta un desarenador la cual permite la retención de sedimentos.

Según los estudios de batimetría realizados al 2008, como se muestra en la Figura 37, el embalse tiene un volumen de sedimentos de 57 MMC, volumen almacenado de 201 MMC y un volumen muerto y reserva técnica de 30 MMC se tendría un volumen útil de 171 MMC.

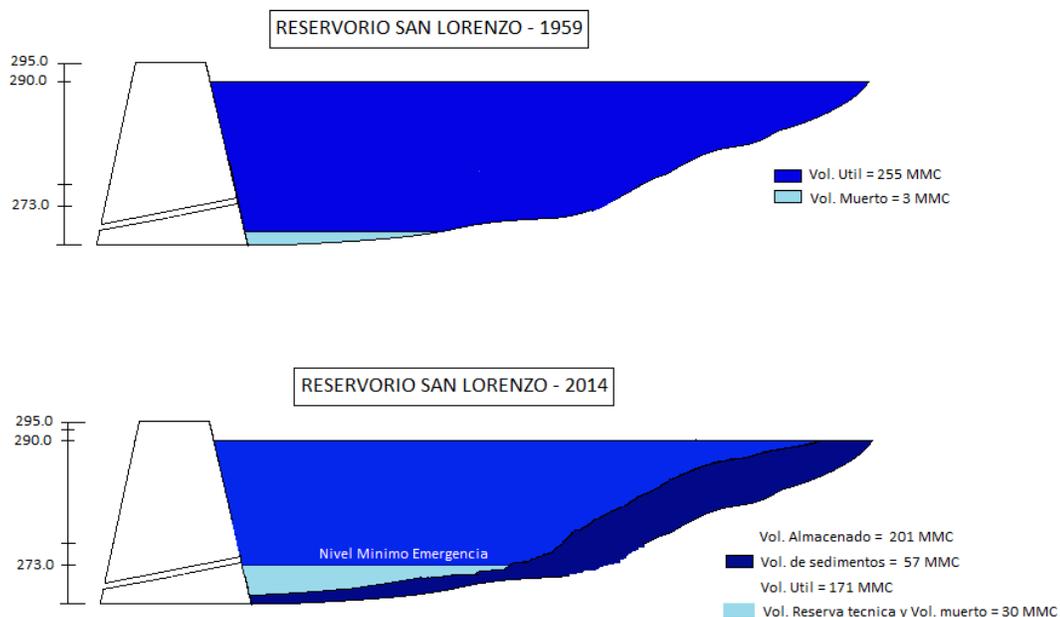


Figura 37. Capacidad inicial y actual del embalse

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.3. Curva granulométrica

No existen estudios de los sedimentos en suspensión y de fondo de los ríos Chipillico y Quiroz.

3.4.4. Curva capacidad vs tiempo

Cabe resaltar que, el reservorio de San Lorenzo, a lo largo del tiempo de su funcionamiento ha soportado 02 Fenómenos del Niño (FEN), pero debido a que el 90% del caudal que llega al reservorio San Lorenzo es del río Quiroz, agua que es captada por la Bocatoma Zamba con una capacidad de diseño de $61,8 \text{ m}^3/\text{s}$, es por ello que al haber un caudal pequeño, en comparación al caudal captado durante las máximas avenidas en Poechos, la cantidad de sedimentos transportados es menor, es por ello que el reservorio no se vio afectado durante estos dos fenómenos y es por ello que ha llegado a sobrepasar su vida útil y sigue operando hasta la actualidad.

En la Figura 38 se muestra la capacidad del reservorio anualmente a lo largo de todo su periodo de funcionamiento, debido a la falta de batimetrías almacenadas por la junta solo tenemos la del 2008 pero claramente que su capacidad de almacenamiento no se ha visto afectada por el Fenómeno el niño.

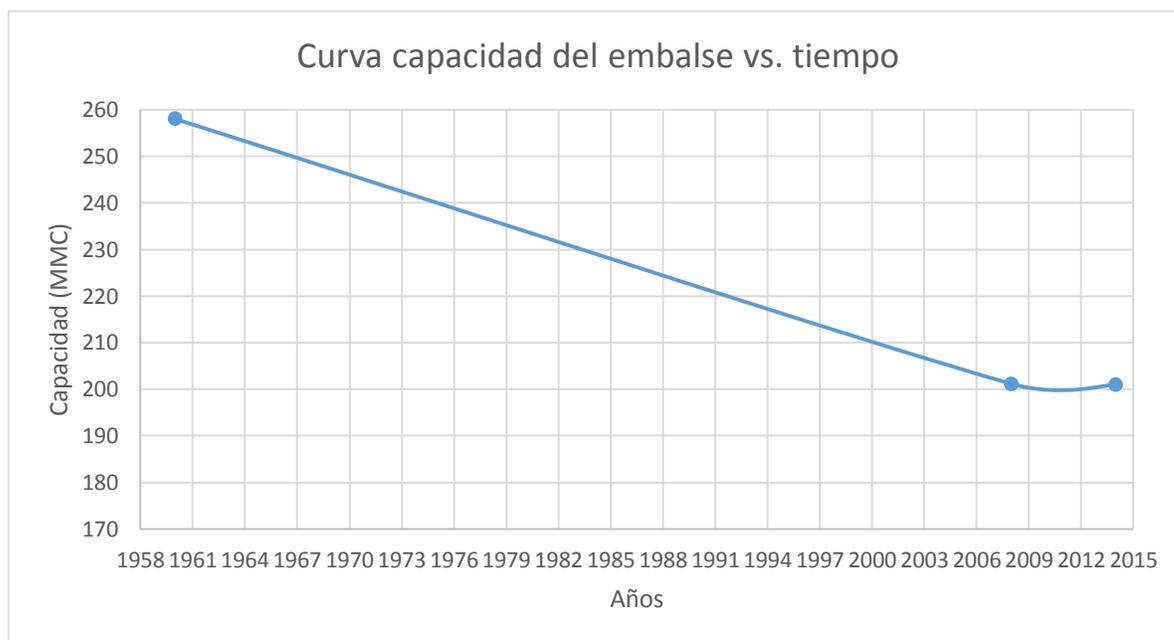


Figura 38. Curva capacidad del embalse vs. tiempo

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.5. Curva cota vs. volumen

Solo se cuenta con una batimetría del año 2008 y a continuación en la Figura 39 observamos la tabla cota área y volumen obtenida del *Informe batimétrico*, realizado por la Junta de Usuarios del Distrito de Riego San Lorenzo (2008).

COTA (m)	PROFUNDIDAD (m.)	AREA (m2)	VOL. PARC.(m3)	VOL.ACUMUL.(m3)	OBSERV.
290.000	0.000	15459029.120	29698659.363	201174372.329	Niv. Máx.
288.000	-2.000	14247863.640	27237835.971	171475712.966	
286.000	-4.000	12999509.680	24794328.482	144237876.995	
284.000	-6.000	11804421.220	22060486.074	119443548.513	
282.000	-8.000	10273772.430	19218298.189	97383062.439	
280.000	-10.000	8959511.100	16739234.381	78164764.250	
278.000	-12.000	7793270.960	14258233.629	61425529.869	
276.000	-14.000	6484984.050	11970992.886	47167296.241	
274.000	-16.000	5499536.750	9734566.103	35196303.355	
272.000	-18.000	4261314.830	7437193.226	25461737.253	
270.000	-20.000	3201110.650	5715914.533	18024544.027	
268.000	-22.000	2528029.050	4313000.291	12308629.494	
266.000	-24.000	1805208.440	2900408.565	7995629.203	
264.000	-26.000	1122136.770	1864028.094	5095220.638	
262.000	-28.000	754045.500	1367893.064	3231192.544	
260.000	-30.000	616165.840	1069292.218	1863299.480	
258.000	-32.000	457078.470	647524.928	794007.263	
256.000	-34.000	206778.000	145924.8825	146482.334	
254.000	-36.000	636.550	557.452	557.452	
252.000	-38.000	40.020	0.000	0.000	
			201174372.329		

Figura 39. Resultado de la batimetría del reservorio San Lorenzo, Mayo 2008
Fuente: Junta de Usuarios del Distrito de Riego San Lorenzo (2008)

Y a continuación en la Figura 40 se muestra la curva cota vs. caudal del reservorio San Lorenzo y los resultados de la misma.

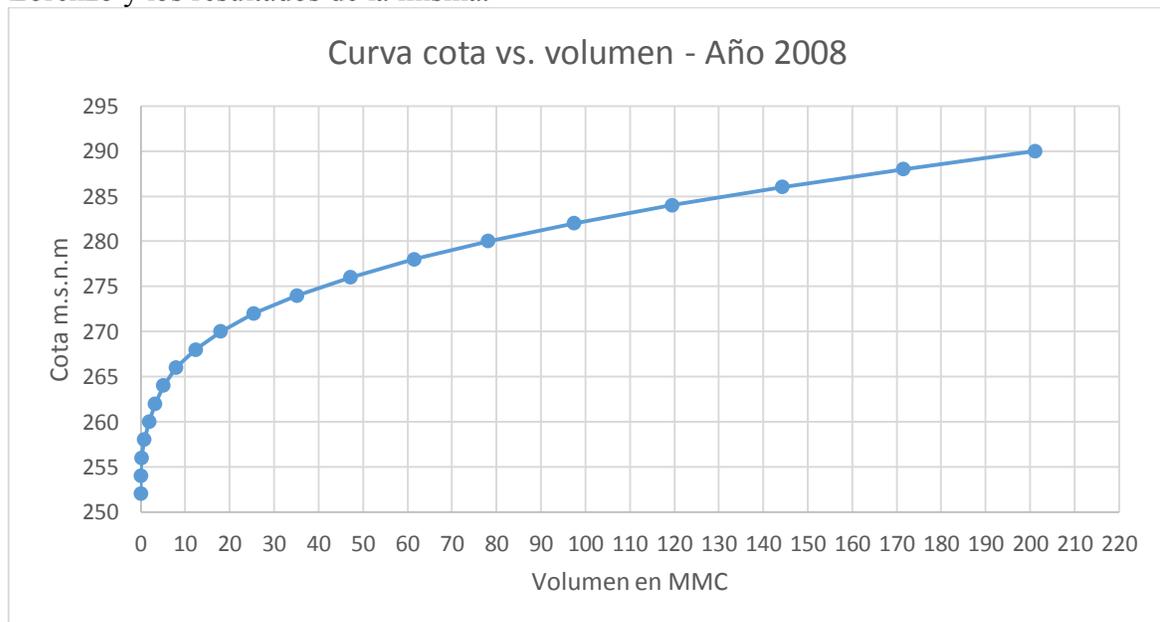


Figura 40. Curva Cota vs. Caudal del reservorio San Lorenzo
Fuente: Elaboración Propia.

Y en la Figura 41 se muestra la curva área y volumen acumulado en función de la cota o elevación.

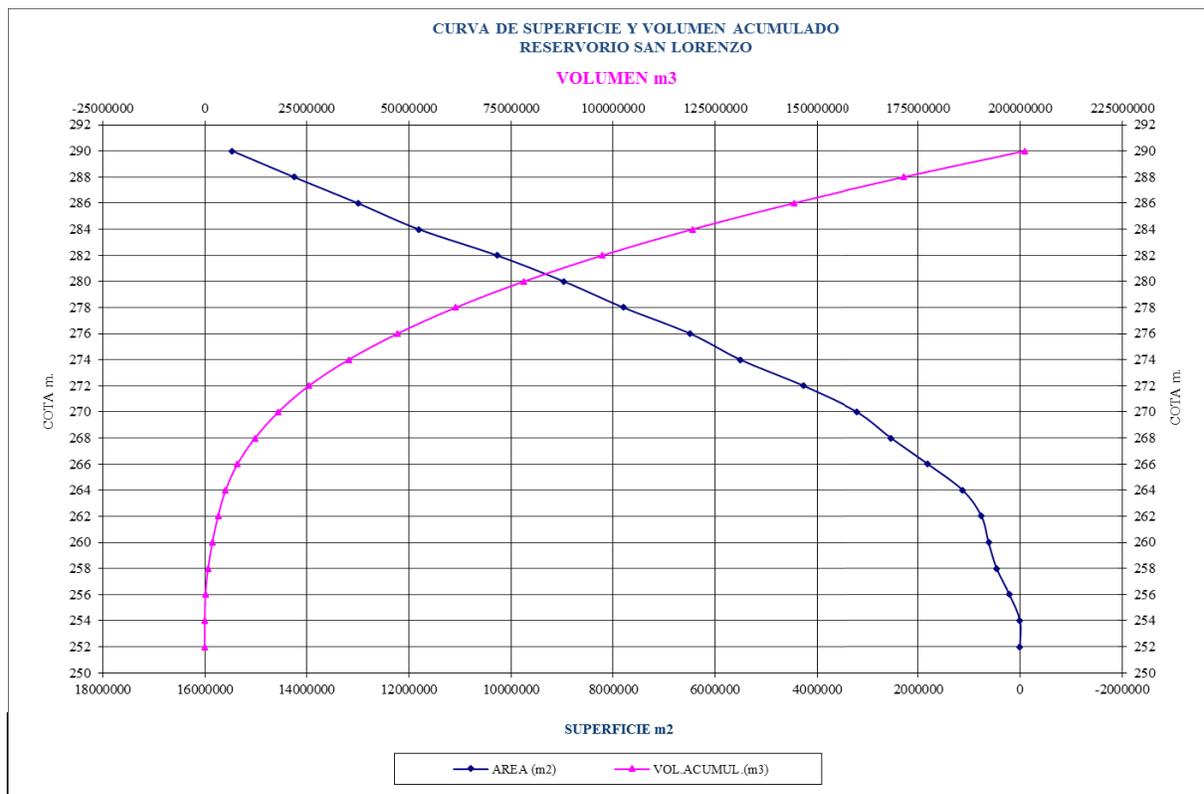


Figura 41. Curva de Superficie y volumen acumulado del Reservoirio San Lorenzo
Fuente: Junta de Usuarios del Distrito de Riego San Lorenzo (2008).

De las Figuras 40 y 41, se puede determinar:

- Profundidad máxima de 38.00m (comprendido entre el nivel máximo 290.00 m.s.n.m. y el nivel mínimo 252.00 m.s.n.m.).
- Volumen de regulación de 201 174 372,33 m³ (201 MMC).
- Superficie de espejo de agua de 15 459 029,12 m² (15,46 km²).

Capítulo 4

Resumen de los reservorios Poechos y San Lorenzo

4.1 Tabla resumen entre Poechos y San Lorenzo

A continuación se presenta una tabla resumen de los reservorios estudiados en los capítulos anteriores, en la cual se detallaran las diferentes características de los embalses estudiados.

Características	Poechos	San Lorenzo
Inversión	Inversión más importante en materia de irrigaciones en el país.	La Irrigación y Colonización San Lorenzo es el proyecto de riego que con mayor acierto ha practicado la diversificación de cultivos
Etapas de construcción realizadas	3 Etapas	2 Etapas
Area bajo riego, Irrigación	108 000 Ha.	35 000 Ha.
Generación de energía eléctrica	42 MW (Poechos I, Poechos II y Curumuy)	No tiene centrales hidroeléctricas
Razones por la que existe o no existe las centrales hidroeléctricas	Se construyeron centrales hidroeléctricas ya que existe un flujo constante de evacuación de agua.	La posibilidad de un futuro desarrollo energético no es posible porque el reservorio San Lorenzo tiene una capacidad limitada y por ello se debe cortar la salida de agua en ciertos momentos del año, y al no existir un flujo constante de agua, no es posible tener una central hidroeléctrica.
Control de avenidas	5 400 m ³ /s	550 m ³ /s (Máxima avenida en el río Chipillico).
Ríos aportantes al reservorio	Alamor, Catamayo (Ecuador), Chira (Perú), Macará y Quiroz	Quiroz (61,8 m ³ /s) y Chipillico.
Estaciones Meteorológicas Operativas	Ardilla, Ciruelo, Paraje Grande, Puente Internacional (Operadas por el PECHP) y Alamor (operada por el SENAMHI)	Sapillica, Alto de Poclus, Pacaypampa (Operadas por el SENAMHI), Paraje Grande(Operada por el PECHP) y Toma Zamba(Operada por la JUSHAL)
Estaciones Hidrométricas Operativas	Ardilla, Ciruelo, Paraje Grande, Puente Internacional.	Paraje Grande y Toma Zamba
Procesamiento de la información hidrometeorológica	Deficiencia en el procesamiento de la información	
Acceso a la información hidrometeorológica	Limitación al acceso es el costo que le asignan a la información hidrometeorológica la institución SENAMHI	
Calidad de la información hidrometeorológica	Debido al elevado número de elementos y factores para la recolección de la información hidrometeorológica, como son: ubicación de las estaciones, instrumentos muy diversos, condiciones climáticas, nivel educacional del observador, métodos de transmisión, modos de registro que pueden ser en papel, cintas, diskettes, láminas y otras formas, es muy fácil que un determinado dato pierda precisión.	
Inicio de Construcción	1972	1949
Inicio de Operación	1976	1960
Años en Operacion	38 años	54 años
Vida Util	50 años	
Tipo de Presa	Tierra	Tierra de sección trapezoidal
Razones por el tipo de Presa	Según Diseño de Pequeñas Presas, Bureau of Reclamation (2007), las presas de tierra son el tipo más común, debido básicamente a que en su construcción se utilizan los materiales en estado natural con un proceso mínimo. La mayor parte del volumen de relleno o la totalidad está constituida de suelos finos, materiales que pueden tener como máximo gravas. La ventaja de estas presas es que se adaptan fácilmente a la cimentación del terreno natural; además, los requisitos de cimentación para este tipo de presas son menos rigurosos que en otros. Las presas de tierra requieren aliviaderos separados de la presa porque el principal problema de una presa de tierra consiste en que puede sufrir daños graves, e incluso ser destruida por la erosión producida en el caso de un vertido por su coronación. Por ello se debe de prever suficiente capacidad para el aliviadero. Las presas de tierra compactada pueden ser de tres tipos: Homogéneas, Heterogéneas y de Pantalla.	
	Para la construcción de la Presa se emplearon de relleno 18 MMC de tierra de 14 tipos de materiales diferentes, por ende es una presa Heterogénea.	Presa Heterogénea.
Altura de la Presa	48 m.	57 m.
Profundidad del Reservorio	35 m. (Cota 105-Cota 70)	38 m. (Cota 290 m.s.n.m.-Cota 252 m.s.n.m.)
Longitud de embalse	24 km.	7 km.*Datos obtenidos a simple medición en el google earth
Ancho del Reservorio	7,4 km.	4,5 km.*Google Earth
Longitud de Corona	11 km.	780 m.
Cota o altitud de Corona	108 m.s.n.m.	295 m.s.n.m.
Ancho de Corona	8 m.	8 m.

Características	Poechos	San Lorenzo
Ancho máximo de corona en la base	290 m.	280 m.
Volumen de Diseño	1 000 MMC	258 MMC
Cota máxima de operación	103 m.s.n.m.	290 m.s.n.m.
Cota mínima de operación	84 m.s.n.m.	273 m.s.n.m.
Cota de Volumen muerto-Nivel mínimo de captación	78,5 m.s.n.m.	253 m.s.n.m.
Nivel máximo de almacenamiento	105 m.s.n.m.	290 m.s.n.m.
Volumen de almacenamiento en la cota máxima de operación, según diseño	885 MMC en la cota 103	258 MMC en la cota 290
Volumen de almacenamiento en la cota mínima de operación, según diseño	180 MMC en la cota 84	---
Volumen muerto, según diseño	96 MMC en la cota 78,5	3 MMC en la cota 253
Volumen util, según diseño	789 MMC en la cota 103	255 MMC en la cota 290
Capacidad de descarga	5 500 m ³ /s	700 m ³ /s (Aliviadero Maray)
Área de espejo	62 km ² en la cota 103	15,46 km ² en la cota 290
Volumen almacenado actual	405,52 MMC en la cota 103	201 MMC en la cota 290
Volumen muerto actual	15,16 MMC (al 2013)	30 MMC (Reserva técnica y volumen muerto)
Volumen de sedimentos actual	479,48 MMC	57 MMC
Volumen útil actual	390,36 MMC en la cota 103	171 MMC en la cota 290
Porcentaje de sedimentación	54,18%	22,1%
Razones de una corta vida útil y una larga vida útil Causas de la sedimentación o no sedimentación	<p>La colmatación de la presa Poechos, en más de 38 años de funcionamiento, ha alcanzado 479 MMC de sedimentos, que representa el 54% del volumen operativo de 885 MMC. Este volumen resulta insuficiente para abastecer los requerimientos hídricos de los cultivos en los valles del Chira y Piura, para generar energía hidroeléctrica y para atender las demandas de agua potable de la población. El proceso de colmatación tiene su origen principalmente, en el arrastre de sedimentos por el Río Chira provenientes de la erosión laminar o hídrica que se produce en las zonas desprotegidas de la cuenca alta, así mismo de las prácticas culturales que se realizan en los lechos de quebradas importantes como “La Solana”, donde anualmente se depositan más de 2 MMC de suelo agrícola, que en los periodos de avenida es arrastrado al vaso de la presa. (Rocha Felices, 2006)</p> <p>Cabe resaltar que, el reservorio de Poechos, a lo largo del tiempo de su funcionamiento ha soportado dos Fenómenos de El Niño (FEN) en 1983 y 1998, por lo que la sedimentación en esos dos años se incrementó 10 veces más que el promedio anual que se pronosticó en el diseño inicial, es por ello que el reservorio se vio afectado profundamente, debido a ellos los sedimentos en el reservorio se han elevado muy por encima de lo que se predijo, según los estudios.</p> <p>El Dr. Ingeniero Jorge Reyes, especialista en hidráulica y sedimentología, menciona que la causa principal de la colmatación de Poechos no es que no se haya previsto la ocurrencia de las grandes avenidas con los Fenómenos de El Niño, sino que no se haya contemplado en el diseño como evacuar los sedimentos.</p>	<p>El Reservorio San Lorenzo se ha colmatado en un 22% el embalse debido a que el 90% del caudal que llega al reservorio San Lorenzo es del río Quiroz, agua que es captada por la Bocatoma Zamba con una capacidad máxima de 61,8 m³/s, es por ello que al haber un caudal pequeño, en comparación al caudal captado durante las máximas avenidas en Poechos, la cantidad de sedimentos transportados es menor. Adicional aguas arriba de la bocatoma Zamba se encuentra la bocatoma María Auxiliadora, esta estructura permite la retención de sedimentos. Es por ello la poca colmatación del reservorio y la superación de la vida útil del mismo.</p>
Batimetrías Realizadas	24	1* La JUSHAL solo cuenta con el registro de una, la del 2008.

Características	Poechos	San Lorenzo
Causas de la cantidad de batimetrías realizadas	La primera batimetría se realizó 4 años después del inicio de su operación. Y desde el año 1997 se realizan batimetrías cada año, debido a la cantidad de sedimentos que existen en el reservorio, para poder llevar a cabo un correcto control de la cantidad de agua que disponen para poder así operarlo correctamente y que cumpla con los beneficios y fines.	Se tiene pronosticado realizar batimetrías cada cuatro años, es por ello que previo al 2008 se hizo la batimetría del 2004, pero según la JUSHAL esa batimetría no fue realizada correctamente. Adicionalmente por un tema de escasos recursos es que no se ha realizado batimetrías posteriores a la del 2008.
Cantidad de salidas de agua	Salida de Fondo: Con salidas a los canales laterales Miguel Checa y Huaypirá y la toma del Canal Daniel Escobar	La presa tiene una sola salida de fondo de 50 m ³ /s, que se utiliza exclusivamente para fines de riego, aunque el diseño original había previsto dos salidas para la posibilidad de futuro de desarrollo energético.
Problemas actuales	El volumen de agua almacenada en reservorios del norte (Poechos, San Lorenzo, Tinajones, Gallito Ciego) y del sur (Aguada Blanca, El Frayle, El Pañe, Condoroma) muestra un descenso en los últimos años, aun cuando mantienen sus ciclos de mayor volumen en los meses de marzo-abril. Asimismo es notorio el descenso de la masa de agua en los ríos de la costa norte (Chira, Chancay-Lambayeque, Chicama). Es por ello que presentan los siguientes problemas:	
Problemas actuales	<p>- Creciente desbalance entre la oferta y la demanda de agua</p> <p>En nuestro país, se está produciendo un desbalance entre la oferta y la demanda de agua. Por el lado de la demanda, las necesidades se incrementan (mayores áreas con cultivos de agro exportación en costa, crecimiento poblacional en zonas urbanas, incremento actividades mineras en cabecera de cuenca, aumento de las demandas energéticas), y por el lado de la oferta, la disponibilidad del recurso está siendo afectada por diversas causas, siendo la principal el cambio climático en tanto su relación con la desglaciación de los nevados (30 % en los últimos 36 años) y de los cambios en los patrones de lluvias (presencia de severas sequías en unas zonas del país y de elevadas precipitaciones en otras zonas).</p> <p>Los embalses Poechos y San Lorenzo presentan almacenamientos críticos por debajo de sus niveles de operación. Este comportamiento se debe fundamentalmente a un desbalance entre la oferta y demanda, y a una operación deficiente de los sistemas. (Guerrero De los Rios, Diciembre 2012)</p>	
	Al existir un desbalance entre la oferta y la demanda, en San Lorenzo se presentan estos problemas: Frecuentes restricciones de suministro de agua a los usuarios, como consecuencia de reducciones imprevistas de los volúmenes de agua regulados en el reservorio San Lorenzo, considerables pérdidas económicas en los cultivos sembrados como consecuencia de las reducciones imprevistas y frecuentes del recurso hídrico, limitaciones en el desarrollo futuro del Sistema por falta del recurso hídrico y la restricción o reducción de la producción en algunos sectores del Sistema.	
Problemas actuales	<p>- Baja eficiencia en el uso de agua de riego en la costa</p> <p>El agua de uso agrícola no es bien aprovechada, principalmente en la costa, donde se ha realizado inversión pública en obras de infraestructura hidráulica, debido al predominio del riego por gravedad con baja eficiencia de aplicación (33%, según estimaciones efectuadas por el ex INRENA¹⁰) y al mal estado de los canales de conducción y distribución y de los sistemas de drenaje. Esta situación ha dado lugar a la pérdida de tierras por salinidad, estimada en 300 mil Ha., lo que representa más del 30% del área bajo riego de la costa. A esto se suma, patrones de cultivo con excesiva demanda de agua como son los casos del arroz y de la caña de azúcar, con módulos de riego de hasta 22 000 m³/Ha. campaña y con pérdidas de agua de más de 80%. (Guerrero De los Rios, Diciembre 2012) Un promedio para un cultivo es de 15 000 a 18 000 m³/Ha.</p>	
Problemas actuales	<p>- Pago reducido por concepto de tarifas por utilización del agua</p> <p>El agua no es considerada como un bien económico, por tanto las tarifas que se pagan por el consumo de agua no reflejan su escasez. Las organizaciones de usuarios, en una considerable parte del territorio nacional, muestran grandes debilidades, sin un conocimiento claro de sus funciones, carentes de herramientas e instrumentos de gestión, y escasa participación de sus miembros. (Guerrero De los Rios, Diciembre 2012)</p> <p>El costo del agua para una empresa con riego presurizado es de S/.0,05/m³ y para una persona natural es de S/.0,02/m³ aproximadamente.</p>	

¹⁰INRENA: El Instituto Nacional de Recursos Naturales.

Características	Poechos	San Lorenzo
Recomendaciones para mejorar el problema del creciente desbalance entre la oferta y la demanda de agua		<p>a. Mejorando la eficiencia del sistema de conducción y distribución del agua de la siguiente manera:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reconstrucción de los sistemas de conducción de agua. - Mejoramiento de la gestión de agua. - Disminución de las pérdidas de agua en los sistemas de conducción y distribución. - Aumento de la eficiencia de riego. (Junta de usuarios del distrito de riego San Lorenzo, 2009) <p>b. Mejorando la gestión y el manejo del agua. Son elementos que influyen de manera significativa en aumento de la disponibilidad del recurso hídrico, teniendo en cuenta que el manejo y gestión no adecuada, pueden provocar pérdidas adicionales del recurso hídrico que no depende directamente del estado actual del Sistema y del estado de las redes de conducción y distribución, sino únicamente de la eficiencia del sistema de manejo del Reservorio San Lorenzo en el tiempo real. Este tipo de operación incluye la medición de todos los parámetros que incidan en la operación real del sistema, de los cuales los más importantes son: la disponibilidad del recurso hídrico, demanda real diaria, semanal y mensual de cada usuario, recopilación y análisis de los datos medidos, prognosis (pronóstico o predicción) de los aportes del sistema y simulación matemática de la operación de cada elemento del sistema. (Junta de usuarios del distrito de riego San Lorenzo, 2009)</p>
	<p>c. Aumentando la disponibilidad del recurso hídrico a ser usado. El aumento de la disponibilidad del recurso hídrico para el reservorio San Lorenzo también es posible, dado que este embalse se alimenta a través del río Quiroz y Canal de derivación, aprovechando cerca de 65% del volumen anual promedio disponible del río Quiroz. El aumento de la disponibilidad del recurso hídrico se puede lograr elevando la capacidad de la Bocatoma Zamba en el río Quiroz y del Canal de derivación y/o construyendo uno o dos embalses en la cuenca alta del río Quiroz. La construcción de estos embalses y presas se puede aprovechar al mismo tiempo para la generación de la energía eléctrica. La construcción de estos tendría un impacto positivo en el manejo y operación del sistema San Lorenzo, y también beneficiaría al Reservorio Poechos.</p>	
		<p>Para el futuro está previsto aumentar los volúmenes de aguas que derivará el río Quiroz con la construcción de la Presa Vilcazán y la Presa Santa Rosa, las cuales se ubicaran aguas arriba de la bocatoma Zamba, las cuales mediante su construcción ampliarían la frontera agrícola en 7 693 Ha. e incrementarán la intensidad del uso de la tierra en 13 382 Ha., así como también la generación de energía eléctrica de 10,20 MW.</p>
Los sistemas son complejos, sí o no, y por qué razones	Es más complejo que aquél porque el reservorio de Poechos – núcleo esencial del sistema – regula agua para usuarios de distinto tipo situados en los ríos Chira y Piura, además de funcionar con el fin de laminar las eventuales avenidas del Chira.	Según Diagnóstico de la Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca Chira-Piura Anexo 14: Análisis de Sistemas de Explotación de los Recursos Hídricos, elaborado por el ANA en el 2012, el sistema San Lorenzo es muy complejo, por las siguientes razones:
	El sistema utiliza la oferta de agua del río Chira recogida en el reservorio de Poechos.	Capta agua de dos fuentes: los ríos Chipillico y otras quebradas afluentes al reservorio y del Quiroz mediante la bocatoma de Zamba y el canal de trasvase Quiroz.
	El reservorio tiene una gran capacidad de regulación, con un volumen neto máximo original de 885 MMC, reducido actualmente a unos 405 MMC por los sedimentos acumulados, según la batimetría de 2014.	El reservorio tiene una capacidad notable de regulación, gracias a un volumen neto máximo de 258 MMC, reducido a 201 MMC según la última batimetría disponible del 2008, por la sedimentación producida en su vaso.

Características	Poechos	San Lorenzo
	Las demandas que usan el agua regulada se sitúan en dos cuencas distintas, las del Chira y el Piura.	Las demandas que usan el agua regulada se sitúan en dos cuencas, en la cuenca Piura y Chira.
	Las demandas de riego se sirven a través de cinco canales principales – Miguel Checa, canales Norte y Sur del Bajo Chira, Canal Derivación Daniel Escobar y canal principal Biaggio Arbulú del Bajo Piura, además de numerosos canales secundarios, algunos de gran importancia.	La red de canales de transporte y distribución es compleja: el canal principal es el Yuscay que, en el Partidor, distribuye el agua regulada a los canales de Tablazo, Tambo Grande, Tejedores, TJ 05 y a la Quebrada Moqueguanos que alimenta la quebrada San Francisco de donde capta el canal Malingas.
	La demanda más consumidora de agua es la agrícola, con una media en los últimos cinco años de más de 1 370 MMC/año, sin contar con los usos del Bajo Piura, que añaden unos 530 MMC/año al volumen anterior.	La demanda agrícola en el último año fue de 749 MMC/año.
	El reservorio atiende inmediatamente aguas abajo las demandas de varios usuarios con intereses a menudo contrapuestos: las centrales hidroeléctricas de Poechos I, II, Curumuy, el caudal ecológico, una piscifactoría y los numerosos canales de riego del Bajo Chira y Medio y Bajo Piura.	El reservorio atiende inmediatamente aguas abajo las demandas de 13 CUs.
Recomendaciones	Para el Sistema Poechos, si hasta fines de Febrero el volumen de almacenamiento estuviera por debajo de 140 MMC, no se autorizará los volúmenes programados para el cultivo de arroz.	En el Sistema San Lorenzo, Lorenzo, si el volumen de almacenamiento no se recupera hasta los 60 MMC, no se autorizará los volúmenes programados para el cultivo de arroz, tal como se indica en el plan de contingencia.
Recomendaciones	<ul style="list-style-type: none"> - Supervisar y dar apoyo técnico para una operación eficiente de los embalses. Asimismo promover el uso eficiente de los recursos hídricos. (ANA, 2014) - Supervisar la aplicación de los planes de contingencia formulados y aprobados, los cuales incluyen en esencia reducción de la demanda de agua programada, indicando una reducción substancial en el área agrícola del cultivo de arroz. (ANA, 2014) - Promover la instalación de cultivos de menor consumo de agua (sorgo, menestras, etc.) (ANA, 2014) - Desarrollar un Plan de Gestión de eventos extremos (sequías e inundaciones) para las próximas campañas. (ANA, 2014) - En general, el caudal de ingreso a los embalses de San Lorenzo y Poechos, muestran un notable incremento a partir del 20 de Febrero. *Dato del 2014. (ANA, 2014) 	
Acciones realizadas	<ul style="list-style-type: none"> - La política de operación de contingencia ha permitido una ligera recuperación del volumen disponible en los embalses. (Gulman Checa, 2008) - En esa dirección, los caudales de salida disminuyeron considerablemente. (Gulman Checa, 2008) - Debe ponerse en marcha una pronta, masiva y agresiva tarea de capacitación y sensibilización de quienes operan los sistemas de riego, informándolos de las nuevas tecnologías y de las normas legales vigentes, para que cumplan mejor su función en la gestión del recurso agua, vital en cada una de las actividades en que se le utiliza. (Gulman Checa, 2008) 	

Conclusiones

- Ambas entidades, tanto el PECHP como la JUSHAL, manejan sus reservorios con estaciones hidrometeorológicas. La primera con las estaciones El Ciruelo, Puente Internacional, Paraje Grande y Ardilla, y la segunda con las estaciones Toma Zamba y Paraje Grande. Estas estaciones les permiten tomar decisiones para la operación de los reservorios, es por eso que estas estaciones deberían estar en óptimas condiciones y de manera automatizada para que cualquier control de avenidas sea efectivo, ya que una seguridad hipotética aguas abajo es más peligrosa que una ausencia absoluta de control.
- En la tesis se buscó tener la información relevante del embalse, como la hidrología, hidráulica y sedimentología. Este trabajo no es tan simple ya que demanda visitar los diferentes proyectos y juntas encargadas, donde muchas veces la información no está completa. Otras de las dificultades es que la información no está en digital, lo cual dificulta la transferencia de información, que en momentos de emergencia es necesaria tenerla a la mano para la correcta toma de decisiones. Actualmente se están haciendo las coordinaciones, compras e instalaciones de equipos meteorológicos por parte del ANA para establecer una red de monitoreo. Se sugiere involucrar a las universidades públicas y privadas de la Región Piura para que estas en conjunto realicen un trabajo de investigación y de desarrollo de la idea plasmada por la Autoridad Nacional del Agua.
- El correcto manejo y gestión del recurso hídrico se mejora conociendo con exactitud las verdaderas demandas de los agricultores. Esto permitirá un mejor manejo del embalse, hasta tal punto que permitirá mejorar su operación. Este problema se observó en el reservorio San Lorenzo, el cual ha llegado a presentar almacenamiento críticos por debajo de sus niveles de operación, utilizando las reservas técnicas, las cuales no son recomendables utilizar debido a su impureza. Como se menciona anteriormente este comportamiento se debe fundamentalmente a un desbalance entre la oferta y la demanda, a la falta de conocimiento y regulación con exactitud del recurso hídrico. Estas restricciones de suministro de agua a los usuarios han generado considerables pérdidas económicas en los cultivos sembrados. En el caso del Valle del Chira el manejo del recurso hídrico es deficiente, la oferta de agua lograda con los proyectos de irrigación, no ha sido bien aprovechada, especialmente en el sector agrícola, que consume más del 80% de la oferta del recurso hídrico con una eficiencia de 35% en promedio.

- Los registros sedimentológicos del reservorio Poechos muestran que el volumen de sedimentos es 479 MMC, el cual representa el 54% del volumen operativo de 885 MMC. Este volumen de sedimentos es consecuencia del acelerado proceso de sedimentación que viene sufriendo, situación que se agravaría si no se adoptan acciones urgentes e inmediatas que contribuyan a controlar este proceso, ya que dicho volumen útil resulta insuficiente para abastecer los requerimientos hídricos de los cultivos en los valles del Chira y Piura, para generar energía hidroeléctrica y para atender las demandas de agua potable de Sullana, Paita, Talara y Piura, entre otras demandas. Actualmente se está desarrollando el proyecto de afianzamiento del Reservorio Poechos, cuya alternativa de solución es levantar la cota de corona de la presa una altura de 5 m, lo cual generaría un volumen adicional de almacenamiento de 250 MMC. Asimismo la Facultad de Ingeniería de la UDEP, a través del IHHS viene estudiando una alternativa de descolmatación utilizando la energía del agua para arrastrar los sedimentos.
- En el reservorio San Lorenzo los registros sedimentológicos muestran que solo ha perdido cerca del 22% de su capacidad útil de embalse. Esto se debe principalmente a dos factores: el primero que el 90% del caudal de aporte al reservorio San Lorenzo proviene del río Quiroz, agua que es captada por la Bocatoma Zamba, por lo tanto, los sedimentos de fondo son retenidos por la bocatoma. El segundo se debe a los caudales máximos registrados en el río Chipillico, los cuales no presentan una concentración de sedimentos alta. Estos dos factores han generado la poca colmatación del reservorio y la superación de la vida útil del mismo.
- Los ríos de la costa peruana están influenciados por la cordillera de Los Andes, la cual es la principal abastecedora de sedimentos, por lo tanto las estructuras hidráulicas deben considerar en su diseño inicial la interacción de los sedimentos tanto en suspensión como de fondo, es decir se debe contemplar en su diseño la manera adecuada de como permitir la evacuación de los sedimentos en el reservorio.

Recomendaciones

- Se recomienda seguir este proceso de recopilación de información tanto hidrológica, hidráulica y sedimentológica de los otros embalses del Perú. Esto genera una interacción entre los alumnos investigadores de la universidad y los profesionales que se encargan de la operación de los reservorios.

- Para la correcta operación del reservorio, en la hidrología es importante determinar los factores o características físicas de las cuencas como: el área, forma de la cuenca, sistemas de drenaje, características del relieve, suelos, etc. Estas características dependen de la morfología (forma, relieve, red de drenaje, etc.), los tipos de suelos, la cobertura vegetal, la geología, las prácticas agrícolas, entre otras. Estos elementos físicos proporcionan la más conveniente posibilidad de conocer la variación en el espacio de los elementos del régimen hidrológico. Por lo tanto se recomienda aperturar nuevas estaciones hidrometeorológicas y mejorar las existentes, de esa manera se tendrá un mayor conocimiento de la cuenca y por lo tanto una mejor operación del embalse.

- Cultivar en las laderas aguas arriba del reservorio permitirá retrasar el escurrimiento y ayudará a evitar la erosión de la cuenca con el fin de reducir el aporte de sedimentos al embalse. Esta cubierta vegetal sobre el terreno permitirá amortiguar el impacto de las precipitaciones en la cuenca. Otra alternativa es construir trampas de sedimentos en los afluentes al embalse.

- Se recomienda realizar un manejo y gestión de recursos hídricos incluyendo la medición de todos los parámetros que inciden en la operación real del sistema como la disponibilidad del recurso hídrico, demanda real diaria, semanal y mensual de cada usuario, recopilación y análisis de los datos medidos, prognosis (pronóstico o predicción) de los aportes del sistema y simulación matemática de la operación de cada elemento del sistema.

Bibliografía

Autoridad Nacional del Agua (2012). *Capítulo IV Análisis de la oferta y demanda de agua en la cuenca y del estado de infraestructura hidráulica principal, obtenido del Plan maestro de gestión integrada de los recursos hídricos en las cuencas hidrográficas de la región Piura*. Lima, Ministerio de Agricultura: (s.n.)

Autoridad Nacional del Agua (2012). *Diagnóstico de la Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca Chira-Piura Anexo 11 Infraestructura Hidráulica Multisectorial*. Lima, Ministerio de Agricultura: (s.n.)

Autoridad Nacional del Agua (2012). *Diagnóstico de la Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca Chira-Piura Anexo 4*. Lima, Ministerio de Agricultura: (s.n.)

Autoridad Nacional del Agua (2014). *Análisis del déficit hidrológico en el norte del país*. Lima, Ministerio de Agricultura: (s.n.)

Autoridad Nacional del Agua (2015). *Recuperado el 15 de Julio de 2015, de <http://www.ana.gob.pe>*.

Bureau of Reclamation (2007). *Diseño de Pequeñas Presas*. (Traducción de la 3ª Edición Americana actualizada y ampliada por Martínez Marín, E., Batanero, P., Martínez, I., Martínez Olmos, E., González, E.). (1ª ed.). España: Bellisco Ediciones.

Fernández, C. A. (2008). *Efectos ambientales generados por la construcción y operación de un embalse*. Tesis de grado de Ingeniería Civil. Universidad de Sucre. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Sincelejo, Sucre.

Guerrero De los Rios, G. A. (2012). *Sistemas eficientes de irrigación rural en contextos de progresiva mayor escasez de agua*. Lima: Centro Nacional de Planteamiento Estratégico - CEPLAN.

Gulman Checa, L. (2008). *La gestión del agua*. Piura: (s.n.)

Junta de Usuarios del Distrito de Riego San Lorenzo (2009). *Afianzamiento del Sistema Hidráulico de la irrigación San Lorenzo*. Piura: (s.n.)

Junta de Usuarios del Distrito de Riego San Lorenzo (2012). *Batimetría Reservorio San Lorenzo Año 2008*. Piura: (s.n.)

Junta de Usuarios del Distrito de Riego San Lorenzo (2008). Informe batimétrico. Piura: (s.n.)

Junta de Usuarios del Distrito de Riego San Lorenzo. (2009). *Manual de operación de casa valvulas*. Piura: (s.n.)

Ministerio de Desarrollo Social-Gobierno de Chile. (2013). *Metodología para la formulación y evaluación socioeconómica de embalses y obras hidráulicas anexas con fines múltiples*. Chile: División de Evaluación Social de Inversiones.

Morocho Calle, F. (2004). *Sedimentación del reservorio de Poechos y recuperación de volumen de agua de regulación para Sistema Chira-Piura*. Tesis de grado de Ingeniería Civil. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.

NIPPON KOEI LAC (2009). *Manual Operación y Mantenimiento Obra San Lorenzo*. Piura. (s.n.)

Ordinola Enríquez, J. (2009). *Simulación numérica tridimensional del comportamiento hidráulico del embalse limón – Proyecto Olmos*. Tesis de grado de Ingeniería Civil. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.

Paulini Palacios, A. M. (2005). *Evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca alta del río Quirzo*. Tesis de grado de Ingeniería Civil. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.

Proyecto Binacional Catamayo-Chira. (2005). *Caracterización Hídrica y Adecuación entre la Oferta y la Demanda Caracterización Territorial y Documentación Básica de la Cuenca binacional Catamayo-Chira*. Loja – Piura: Asesores Técnicos Asociados S.A. Universidad Nacional de Piura Universidad Nacional de Loja. (s.n.)

Proyecto Especial Chira Piura (1981). *Estudio Almacenamiento y Derivación “Chira-Piura” Diseño final y Detallado-Sumario-ENERGOPROJEKT, Engineering Contracting Co*. Piura. (s.n.)

Proyecto Especial Chira Piura (2001). *Diagnóstico de gestión de la oferta de agua cuencas Chira-Piura*. Piura. (s.n.)

Proyecto Especial Chira Piura (2014). *Título habilitante del Chira-Piura*. Piura. (s.n.)

Proyecto Especial Chira Piura (2015). Recuperado el 15 de Julio de 2015, de <http://www.chirapiura.gob.pe>

Proyecto Especial Chira Piura (2015). *I Etapa del Proyecto Especial Chira Piura*. Recuperado el 15 de Julio de 2015, de http://www.chirapiura.gob.pe/Paginas_Menu/menu_vertical/I_etapa.html

Proyecto Especial Chira Piura (2015). *II Etapa del Proyecto Especial Chira Piura*. Recuperado el 15 de Julio de 2015, de http://www.chirapiura.gob.pe/Paginas_Menu/menu_vertical/II_etapa.html

Proyecto Especial Chira Piura (2015). *III Etapa del Proyecto Especial Chira Piura*. Recuperado el 15 de Julio de 2015, de http://www.chirapiura.gob.pe/Paginas_Menu/menu_vertical/III_etapa.html

Proyecto Especial Chira Piura (2015). Informe batimétrico. Piura: (s.n.)

Quintana Contreras, J. A. (2006). *Análisis de la colmatación del Reservorio Poechos y propuestas de solución*. Tesis de grado no publicada de Ingeniería Civil. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.

Rocha Felices, A. (2006). *La problemática de la sedimentación de embalses en el aprovechamiento de los ríos peruanos, aplicada al embalse de Poechos*. Primer congreso internacional de hidráulica, hidrología, saneamiento y medio ambiente (pág. 42). Lima: Instituto de la construcción y gerencia. (s.n.)

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2015). Recuperado el 15 de Julio de 2015, de <http://www.senamhi.gob.pe/?p=0110>

Suárez Carlo, L. A. (2011). *Evaluación Económica - Financiera de Proyectos Privados*. Piura: Universidad de Piura.

Universidad de Piura (2011). *Construcción de presas reguladoras en la cuenca alta del río Piura, para el aprovechamiento de los recursos hídricos y protección de la cuenca media y baja ante inundaciones*. Piura: Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria.