

Numerical modeling of the desilting process of the Poechos Reservoir using the same water energy

Jorge Reyes Salazar, Doctor en Ingeniería¹, Marina Farías de Reyes, Magister en Ingeniería², Leo Guerrero Asmad, Ingeniero Civil³, y Kiara Tesén Arámbulo, Ingeniera Civil⁴

^{1, 2, 3, 4}Universidad de Piura, Perú, jorge.reyes@udep.pe, marina.farias@udep.pe, guerrero.asmad@gmail.com, kiara.tesen@udep.pe

Abstract– It is necessary to prolong the lifespan of the Poechos Reservoir, which is silted more than 50% of its maximum capacity of 885 Hm³. We propose to desilt it gradually using water power. Based on the sedimentological, hydrological and hydraulic analysis, the behavior of the sediments was modeled with TELEMAC software. Our results show a natural canal formed with adequate hydraulic conditions, and that its velocities and shear stress are able to remove the sediment under an adequate operation.

Keywords- reservoir, silting, desilting, numerical modeling, Poechos.

Digital Object Identifier (DOI):<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.38>
ISBN: 978-0-9993443-1-6
ISSN: 2414-6390

Modelación numérica del proceso de descolmatación del reservorio Poechos utilizando la misma energía del agua

Jorge Reyes Salazar, Doctor en Ingeniería¹, Marina Farías de Reyes, Magister en Ingeniería², Leo Guerrero Asmad, Ingeniero Civil³, y Kiara Tesén Arámbulo, Ingeniera Civil⁴
1, 2, 3, 4Universidad de Piura, Perú, jorge.reyes@udep.pe, marina.farias@udep.pe, guerrero.asmad@gmail.com, kiara.tesen@udep.pe

Resumen– El reservorio Poechos es considerado una infraestructura indispensable para la región Piura, por ello es importante prolongar su vida útil. Los sedimentos llegan a ocupar más del 50% del embalse, afectando su capacidad de almacenamiento, ya que se diseñó para un volumen útil de 885 Hm³ y actualmente almacena únicamente 397 Hm³. El objetivo principal de la investigación es modelar el comportamiento sedimentológico del embalse para proponer una metodología de descolmatación utilizando la misma energía del agua para mantener e ir recuperando paulatinamente el volumen útil del reservorio. La metodología parte del análisis sedimentológico, hidrológico e hidráulico de la información histórica obtenida del Proyecto Especial Chira Piura (PECHP), operador del reservorio, y de los trabajos realizados por el equipo de investigación. Con estos datos se procedió a modelar el comportamiento de los sedimentos dentro del reservorio con el uso del software Open TELEMAC-MASCARET. Los resultados muestran valores de velocidades y esfuerzos de corte capaces de remover el material sedimentado, concluyendo así, que el reservorio Poechos cuenta con un canal natural para el proceso de descolmatación, que posee las condiciones hidráulicas adecuadas para que se produzca el arrastre de sedimentos dentro del vaso regulador, con flujo a gravedad y pendiente energética suficiente. Es decir que bajo una adecuada operación se puede descolmar el embalse.

Palabras claves– reservorio, sedimentación, descolmatación, modelación numérica, Poechos.

I. INTRODUCCIÓN

El reservorio Poechos es la obra más importante del sistema de trasvase de agua de la cuenca del río Chira a la del Piura, cuencas que representan el 90% de agua superficial disponible en la región Piura. Esta obra se encuentra ubicada en el cauce del río Chira a 40 km al Noreste de la ciudad de Sullana, en la costa norte de Perú. Fue puesto en operación en 1976, contando con una capacidad original de 885 Hm³ en su cota normal de operación [1].

Su importancia reside en que es una obra multifuncional, pues atiende los siguientes usos del agua en la región Piura: el uso primario, que consiste en su utilización directa y efectiva para satisfacer necesidades humanas; el uso poblacional, que consiste en la captación del agua de una fuente o red pública, debidamente tratada, para satisfacer las necesidades humanas básicas; y el uso productivo se refiere a procesos de producción, tales como agrario: pecuario y agrícola; acuícola y

pesquero; energético; industrial; medicinal; minero; recreativo; turístico; y de transporte [2].

A. Situación actual del reservorio

El reservorio Poechos presenta un problema de sedimentación, pues el volumen acumulado de sedimentos corresponde al 55.14% del volumen inicial de operación.

Desde su puesta en marcha, en Poechos se han realizado 26 campañas de medición del sedimento acumulado en el vaso regulador, mediante 20 secciones transversales separadas entre 1 y 1.8 km, aproximadamente, que se distribuyen desde la zona de la presa hasta la cola del embalse, en una longitud aproximada de 25 km [3].

Se ha analizado que en años hidrológicos normales la acumulación de sedimentos se encuentra dentro de lo previsto en los parámetros de diseño, entre 8 a 9 Hm³/año. Sin embargo, en los Fenómenos El Niño (FEN) ocurridos en los años 1983 y 1998, el depósito de sedimento alcanzó los 75 Hm³/año (Fig. 1). Esto evidencia la importancia de buscar alternativas de descolmatación para esta estructura tan importante.

La Fig. 2 muestra que la mayor cantidad de sedimentos se ha acumulado entre las secciones 2 y 3, ubicadas a 4.37 y 6.24 km, respectivamente, del dique donde se ubican las compuertas principales.

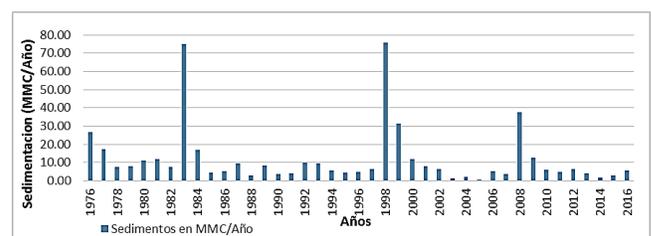


Fig. 1 Retención de sedimentos en el embalse Poechos, 1976 – 2016 [4].

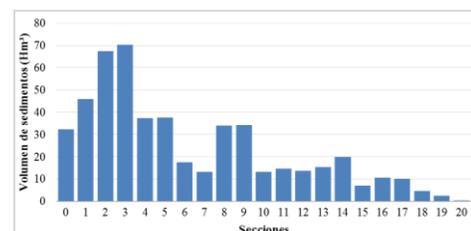


Fig. 2 Sedimentos por secciones en el reservorio, 1976–2016 [4].

Con las mediciones realizadas se ha logrado identificar la distribución espacial del sedimento en el embalse y así enfocar de manera adecuada las alternativas de solución al problema de colmatación, en las secciones donde se encuentra la mayor cantidad de sedimentos.

B. Análisis del comportamiento geomorfológico del río Chira entre los años 1973 y 2016

En la Fig. 3 se observan los cambios del río Chira correspondientes a los años 1973, 1978, 1998, 1999, 2000, 2002, 2013 y 2016 que permiten monitorear el embalse en niveles correspondientes a eventos de sequía o bajas precipitaciones en la cuenca.

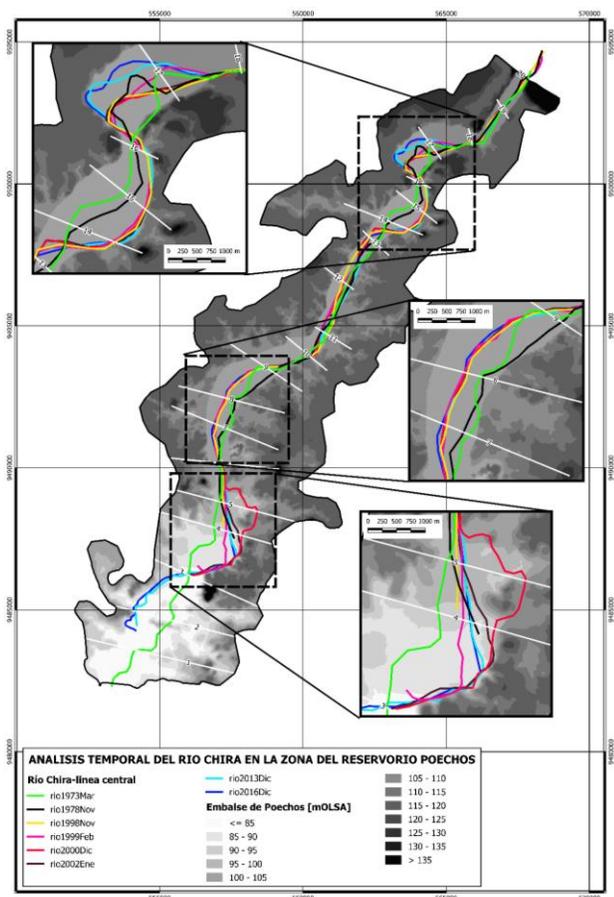


Fig. 3 Análisis temporal del río Chira en la zona del reservorio Poechos.

El análisis de las imágenes satelitales [5] durante la época de caudales bajos ha permitido evidenciar la existencia de un cauce natural dentro del embalse, formado debido a la capacidad erosiva que tiene el agua en la situación de flujo por gravedad, descolmataando un cauce que se inicia donde el flujo no está remansado, cerca de las compuertas, hacia aguas arriba.

El análisis de las imágenes satelitales ha permitido trazar el cauce natural del río Chira utilizado en las modelaciones. El eje del cauce del río más notorio es el registrado en el año

1973, porque en esa oportunidad la construcción del reservorio Poechos no estaba culminada. El eje central del río en el año 1978 es similar al año 1973, ya que la sedimentación del embalse no cambiaba aún el cauce natural. En 1998, el eje central ya se aprecia totalmente diferente, evidenciando los cambios generados por la sedimentación. Es importante aclarar que el primer FEN fue durante el año hidrológico 1982-83, donde según registros batimétricos, se evidencian grandes cambios en el fondo del embalse.

C. Formación del canal de descolmatación en el reservorio

Las condiciones para la formación de un canal de descolmatación se dan cuando las compuertas están abiertas facilitando así, que no exista remanso en el reservorio y la presencia de un caudal circulante.

Registros de campo evidencian que bajando la cota de agua del reservorio hasta el nivel 88 m OLSA (Sistema arbitrario de referencia propio de Poechos) se presenta flujo sin remanso. En la Fig. 4 se muestra la formación de un canal con pendiente fuerte y flujo con capacidad de arrastre, formando así, un canal que parte de 30 m, semejante al ancho total del aliviadero de compuertas, y que se ensancha hasta 150 m.

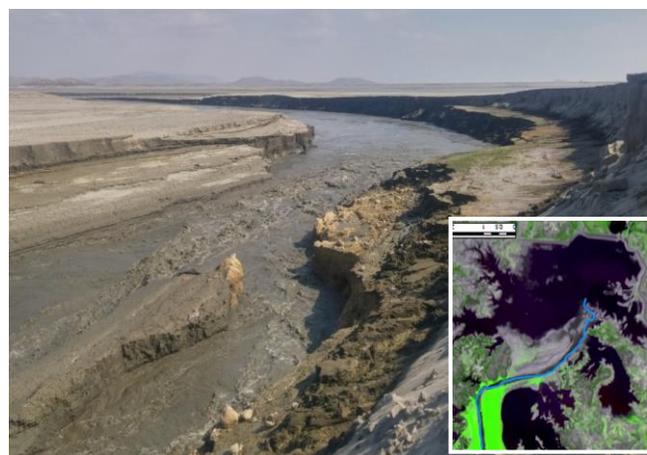


Fig. 4 Canal formado dentro del embalse, para un caudal de 40 m³/s a una cota de 90 m OLSA [6].

En tales condiciones, el flujo tuvo la capacidad de arrastrar los sedimentos, aunque estuvieran cohesionados, pues la erosión se producía en la capa superior de sedimentos, en donde se tiene poca compactación en comparación con las capas inferiores, a 40 m de profundidad, correspondientes a la altura del embalse. Además, cabe recalcar que el objetivo principal de la metodología propuesta es remover los sedimentos de las capas superficiales, es decir de 1 a 5 m de profundidad, material que no está tan cohesionado.

II. METODOLOGÍA

La metodología desarrollada requiere los registros históricos de topografía y batimetrías realizadas en el

reservorio desde su puesta en marcha; un análisis sedimentológico, para conocer a detalle la distribución del sedimento dentro del embalse; estudios hidrológicos, para determinar los caudales disponibles para realizar la purga paulatinamente; y un análisis hidráulico.

Con la información recogida, para estudiar el comportamiento de los sedimentos dentro del embalse, se realizó la simulación numérica bidimensional del mismo, la cual se ha dividido principalmente en estudiar el comportamiento hidrodinámico y sedimentológico, en fondo fijo y fondo móvil, para el cauce natural. La modelación utilizó el software Open TELEMAC-MASCARET [7].

A. Topografía y batimetría del modelo numérico

El cauce principal del modelo numérico corresponde al eje central del río en el año 2013 (Fig. 3) ya que la topobatimetría con la que se ha elaborado el modelo numérico corresponde al año 2011, realizada para el estudio de factibilidad “Afianzamiento del reservorio Poechos Sistema hidráulico Chira Piura” [8] por ser la más completa.

En la Fig. 5 se muestra en vista de planta, la topografía final que servirá para la construcción del modelo numérico, y por ende para la definición cauce principal.

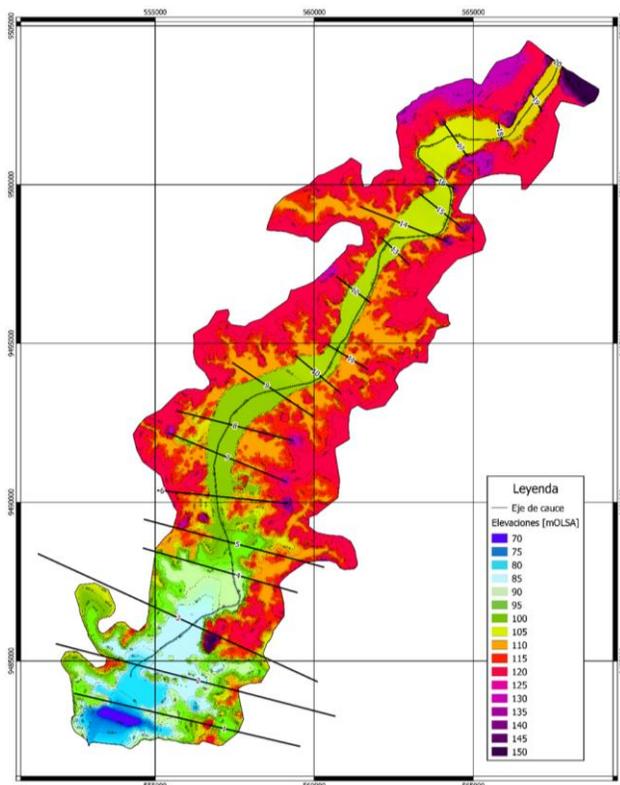


Fig. 5 Vista en planta del fondo del modelo numérico.

B. Estudio hidrológico

El valor del caudal ha sido definido a raíz de un análisis estocástico [9]. Dicho análisis parte de la serie de tiempo de

caudales promedio al ingreso del embalse, en la estación Ardilla, los cuales mediante la definición de un modelo ARIMA permiten predecir los caudales de ingreso al embalse.

En la Fig. 6 se muestran cuatro predicciones donde se aprecia el buen pronóstico de los mayores caudales de la temporada, en la bisemana del 21/03/2016 al 03/04/2016, a medida que las predicciones se hacen con datos más actualizados [9]. La última corrida predice para dicho periodo el caudal más alto, 580.9 m³/s. Adicionalmente, a los valores de las predicciones, se calcularon los límites máximos y mínimos de los intervalos de predicción al 90% y al 80% de confiabilidad, encontrando caudales mínimos de 100 m³/s y máximos de 1200 m³/s [9].

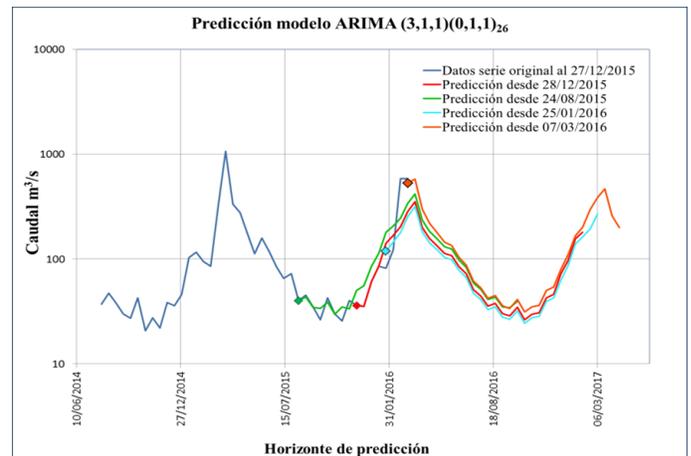


Fig. 6 Valores de caudales alcanzados en la predicción para diferentes grupos de datos [9].

En función al estudio realizado por Aguilar (2016) se ha decidido evaluar el comportamiento hidrodinámico y sedimentológico para un caudal promedio de 900 m³/s, promedio entre los valores de 600 y 1200 m³/s.

C. Estudio hidráulico y geotécnico

La remoción hidráulica o flushing es un método de descolmatación de reservorios que involucra principalmente las disciplinas de hidráulica y la geotecnia debido al conocimiento que se debe tener sobre la hidrodinámica, los sedimentos y el fondo del cauce o el reservorio.

Con estudios geotécnicos históricos realizados a la zona que comprende el reservorio Poechos, se ha delimitado el ancho de desplazamiento del río a lo largo de los años.

Para fines de evaluación de tamaño de sedimentos en el embalse, se tomó la curva granulométrica correspondiente a la estación Ardilla [10]. Esta curva presenta:

- D90: 0.3 mm (suspensión) y 100 mm (fondo).
- D50: 0.05 mm (suspensión) y 30 mm (fondo).
- D10: 0.007 mm (suspensión) y 4 mm (fondo).

Es importante mencionar que, según las características hidráulicas de todo embalse, el material más grueso se sedimenta en la cola del embalse y el resto avanza a manera de

corrientes de densidad [10]. Es decir, el material ubicado entre las secciones 1 y 6 tuvo valores máximos de 10 mm.

El aliviadero de compuertas inicia en la cota de fondo 78 m OLSA luego sigue un canal con una pendiente del 10% hasta llegar al salto de sky, que tiene como cota de cresta, 67 m OLSA. Esta sección ha sido seleccionada porque se da un cambio de pendiente de fondo, de pendiente horizontal a supercrítica, generando que el flujo pase por el tirante crítico.

Cabe resaltar que, en el modelo numérico no se han considerado los pilares, ni un factor de corrección por el efecto de los pilares, por lo tanto, se tiene una única salida de sección rectangular de 37.4 m de ancho, en vez de tres compuertas.

A la salida del vertedero, se consideró como condición de borde el valor de tirante crítico, 3.894 m, para el caudal de 900 m³/s, el cual se da antes de iniciar la descarga a través del salto de sky en el aliviadero de compuertas.

Con respecto a la profundidad de los cauces, se estableció un valor de 2.5 m, cuyo valor de profundidad resulta de las mediciones que se realizaron durante la visita técnica al reservorio Poechos durante el mes de diciembre de 2016.

D. Modelo hidrodinámico del embalse

La estructura de la malla del modelo numérico en forma general tiene una separación de nodos de 75 m, 6 zonas de densidad y 1 línea de nodos fijos. Las zonas de densidad se establecen para áreas de estudio o mayor detalle, en este caso, se tiene: la zona 1, correspondiente a la llanura de inundación de ambos cauces, tiene una separación de nodos de 50 m; la zona 2, 3 y 4, corresponden al aliviadero de compuertas, se tiene una separación de nodos que permiten la transición de separación de 45 m a 3.5 m; y finalmente la zona 5 y 6, corresponden al inicio del modelo numérico, se tiene una separación de nodos que permiten la transición de separación de 45 m a 7.5 m. La línea de nodos fijos permite representar el eje, la separación de estos nodos es 7.5 m. La separación de nodos establecida busca tener como mínimo 10 nodos en la corriente principal. En la Fig. 7, se observa la malla definitiva para el estudio del cauce principal.

Las condiciones numéricas son las siguientes:

- El coeficiente de fricción es de 0.025 según la fórmula de Manning. El modelo de turbulencia elegido es K-epsilon.
- Las condiciones de borde son el caudal de entrada y los niveles de agua en la salida. La simulación considera un tirante de agua inicial de 0.5 m en el cauce.
- Se activó en el modelo la opción de balance de masa con la finalidad de obtener un equilibrio entre lo que ingresa y lo que sale.
- Las variables que se obtienen de la modelación son: velocidad, tirante de agua, nivel de agua, velocidad de corte, celeridad, número de Courant, valores de turbulencia y disipación de energía.
- Se realizaron tres millones de iteraciones con un paso de 0.1 s, haciendo en total un tiempo real de 300000 s u

83.3 h. El tiempo que tomó la simulación fue de 1 día y 4 horas, para obtener resultados estables, es decir, se tiene continuidad, ingresa 900 m³/s y de salida se obtiene el mismo o valor, con un error comprendido entre 1 al 5%.

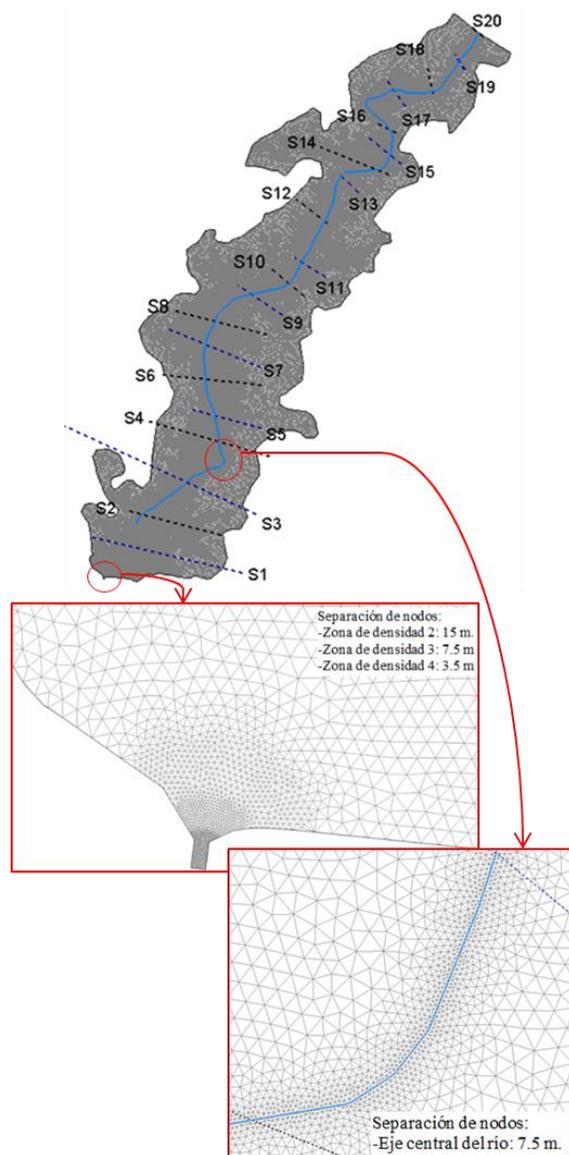


Fig. 7 Estructura del mallado del cauce principal para fondo fijo.

E. Modelo hidrodinámico y sedimentológico del embalse

La estructura de la malla es la misma, es decir, la separación de nodos y zonas de densificación se mantienen. Sin embargo, al incorporar el comportamiento sedimentológico, se han definido zonas de fondo rígido y móvil (Fig. 8).

Las zonas de fondo rígido han sido definidas con un valor de 0 y las zonas de fondo móvil con un valor 100. La asignación de los valores corresponde a un script que le especifica al modelo numérico cuáles zonas son rígidas y

cuáles móviles y así mismo, la profundidad y/o nivel máximo de erosión. El script fue obtenido del fórum del Open Telemac-Mascaret [7].

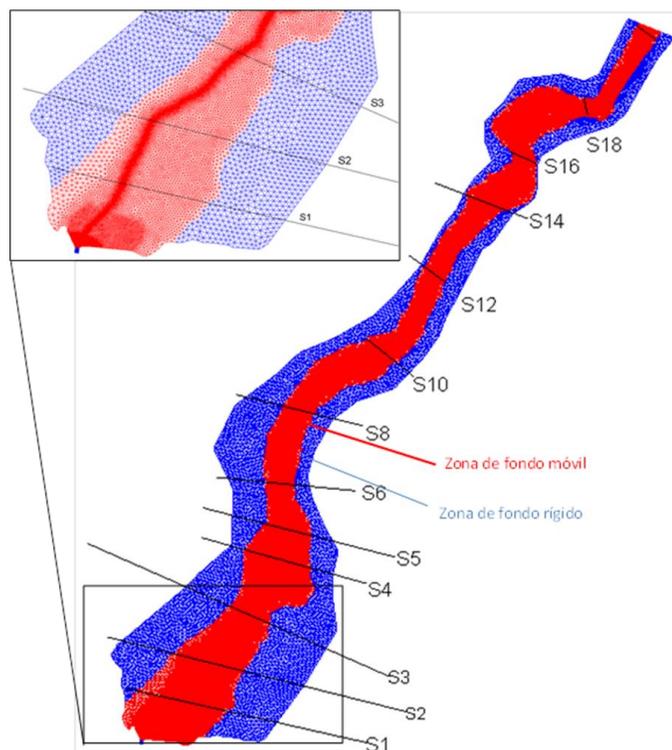


Fig. 8 Estructura del mallado del cauce principal para fondo móvil.

La simulación para estudiar el comportamiento de fondo utiliza los resultados obtenidos en condiciones de fondo fijo y caudal constante. Con estos resultados, el modelo numérico empieza a cambiar las cotas de fondo, generando cambios en los valores hidrodinámicos como: tirante, velocidad, nivel de agua, velocidad de corte, etc. Es así como empieza una interacción entre agua y sedimentos, la cual, dependerá de las condiciones físicas del fondo, ecuaciones representativas del comportamiento de sedimentos y tiempo de modelación.

Se han considerado las siguientes características:

- Las condiciones de borde en el estudio de sedimentos consideran solamente fondo móvil, transporte de fondo y el transporte en suspensión, teniendo una granulometría uniforme [11].
- Con respecto a las condiciones de caudal líquido, el ingreso es 900 m³/s y la salida se mantiene el nivel para el tirante correspondiente.
- En el modelo numérico se ha considerado un material no cohesivo de diámetro uniforme de 0.0003 m. Este tamaño constituye el d90 de la curva granulométrica del material en suspensión en la estación hidrométrica Ardilla. Además, su densidad, con un valor teórico de 1600 Kg/m³ y con una porosidad de 0.4. El material seleccionado es no cohesivo pues este reacciona a las

fuerzas del fluido y su movimiento se ve afectado por las propiedades físicas de las partículas, como el tamaño, la forma y la densidad [12].

- La representación del comportamiento del transporte de sedimentos de fondo y de suspensión mediante se ha realizado mediante la ecuación de Meyer Peter y Muller. Esta fórmula ha sido desarrollada para material más grueso que con el que se cuenta; sin embargo, en estos casos ayuda a predecir mejor el comportamiento de fondo y no sobredimensiona los resultados.
- El ángulo de fricción del material de fondo es de 40°. El modelo numérico considera el efecto de la pendiente cuando se da el arrastre de fondo y también el efecto del flujo secundario que se da en los tramos en curva.
- El número de iteraciones es de 6100000 y el paso es de 0.2 s, haciendo en total un tiempo real de 14 días. El tiempo que tomó la simulación fue de 2 días y 4 horas.

III. RESULTADOS

A. Análisis de la hidrodinámica en fondo fijo

Los parámetros más importantes en este caso son velocidades y esfuerzo de corte en el fondo.

A.1. Velocidad

En la Fig. 9 se muestran los valores de velocidades promedio. En la Tabla I, un cuadro resumen de las velocidades en las secciones establecidas en el embalse Poechos.

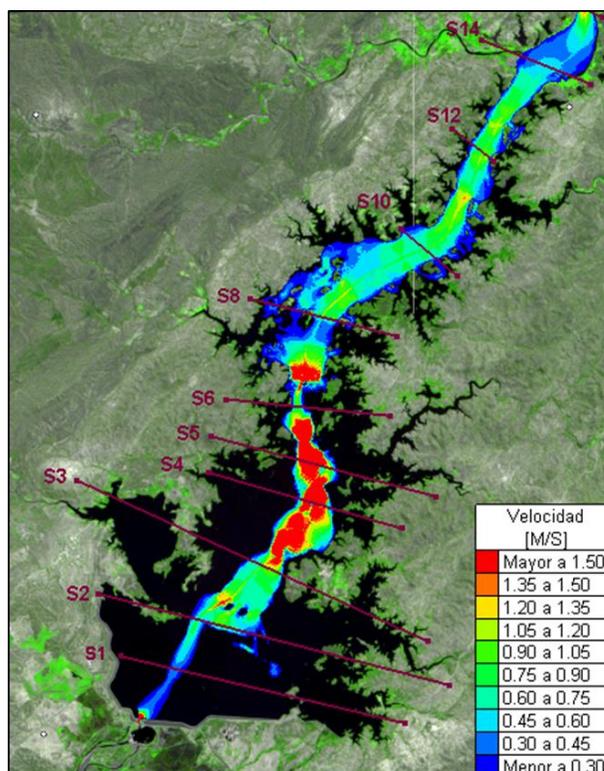


Fig. 9 Velocidades promedio en un fondo fijo.

TABLA I
VELOCIDADES EN EL EMBALSE POECHOS EN UN FONDO FIJO

Sección	Condición final
Compuertas	En las compuertas se tiene una velocidad de 3.5 m/s. A una distancia de 118 m de las compuertas, se observan velocidades hasta de 6 m/s. Luego, hasta 250 m, se da un descenso de velocidades hasta llegar a 3.5 m/s.
Compuertas - 1	El descenso anteriormente mencionado continua, llegando hasta 0.3 m/s.
1 - 2	Entre estas secciones se tiene un aumento progresivo de velocidades que van desde 0.3 a 1 m/s.
2 - 3	En el eje del cauce se tienen valores promedio de 1.3 m/s.
3 - 5	Entre estas secciones se tiene una velocidad promedio de 3 m/s.
5 - 6	Se tiene una velocidad promedio de 2 m/s. Sin embargo, a la mitad de estas secciones, se tiene una velocidad que llega a 5.7 m/s.
6 - 8	Se tienen rangos de velocidades muy variables, desde los 0.5 m/s hasta tramos donde la velocidad llega hasta 6 m/s.
8 - 16	Velocidades uniformes menores a 1 m/s.

A.2. Esfuerzo de corte en el fondo

En la Fig. 10 se muestran los valores de esfuerzo de corte de fondo actuante. Los valores más altos se tienen entre la sección 3 y la sección 7, los valores promedios en las secciones oscilan entre 5 a 70 N/m². Con estos valores se tiene una capacidad de arrastre de partículas cuyo diámetro va desde 13 a 188 mm. Estos diámetros que pueden ser arrastrados son mayores que el d90 existente en el reservorio, 0.3 mm, con lo cual se tiene una capacidad de arrastre que garantiza la conformación del canal y el transporte de sedimentos.

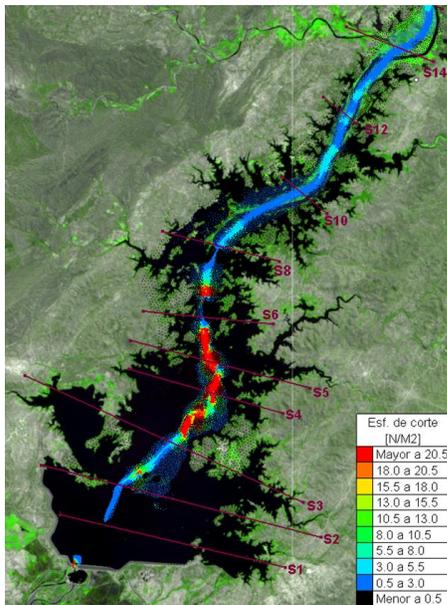


Fig. 10 Esfuerzo de corte en el fondo en un fondo fijo.

Los esfuerzos de corte son altos al ingreso y salida del aliviadero de compuertas, esto evidencia la capacidad de descarga que tienen las compuertas al estar completamente abiertas. En la Tabla II se muestran más detalles de los valores de esfuerzo de corte en el embalse Poechos.

TABLA II
ESFUERZO DE CORTE EN EL FONDO DEL EMBALSE POECHOS UN FONDO FIJO

Sección	Condición final
Compuertas	Esfuerzo de corte por encima de 20 N/m ² . A una distancia aproximada de 118 m de las compuertas, se observan esfuerzos de corte de fondo que llegan hasta 220 N/m ² . Luego, un descenso progresivo hasta llegar a 2 N/m ² .
Compuertas - 1	El esfuerzo de corte se mantiene en el orden de 0.25 N/m ² , sin superar los 0.5 N/m ² .
1 - 2	En el eje del cauce se tienen esfuerzos de corte de 1 N/m ² en promedio.
2 - 3	Se tienen esfuerzos de corte en promedio de 5 N/m ² . En algunos tramos se da un aumento que llega a sobrepasar ligeramente los 20 N/m ² .
3 - 6	Entre estas secciones el comportamiento es progresivo y similar, especialmente en el eje, en donde se tienen áreas con esfuerzos de corte que superan los 90 N/m ² y llegan hasta 200 N/m ² .
6 - 8	Próximo a la sección 7 se da un aumento en el esfuerzo de corte que llega a alcanzar 180 N/m ² en el eje del cauce, pero disminuye rápidamente hasta 1 N/m ² , hasta llegar a la sección 8.
8 - 16	El esfuerzo de corte no supera los 4 N/m ² en promedio.

B. Análisis de la hidrodinámica y sedimentos en fondo móvil

En adición a los parámetros de velocidad y esfuerzo de corte en el fondo, es importante analizar los cambios en el fondo del embalse.

B.1. Cambios en el fondo

En la Fig. 11 se muestran los cambios relativos del fondo en cada nodo de la malla. Se observa erosión comprendida entre 1 a 2 m entre la sección 16 a la sección 8. Desde la sección 8 hasta el eje de la presa hay zonas de erosión y sedimentación. Esto evidencia que el operar el embalse en estas condiciones se activa el movimiento del fondo.

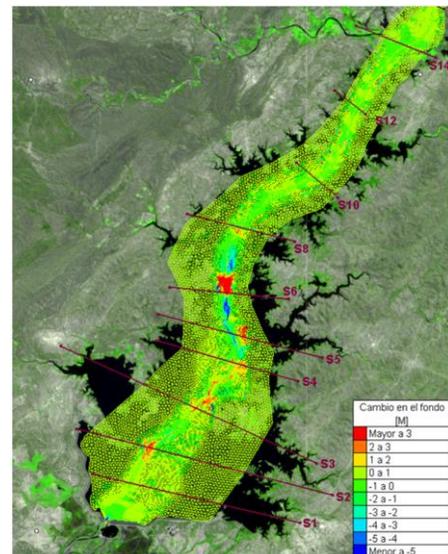


Fig. 11 Cambios en el fondo del cauce en un fondo móvil.

En la Tabla III se muestran un resumen de los cambios observados en la cota de fondo entre las secciones establecidas en el embalse Poechos.

TABLA III
CAMBIOS EN EL FONDO DEL EMBALSE POECHOS EN UN FONDO MÓVIL

Sección	Condición final
Compuertas	En el ingreso del aliviadero de compuertas se observa erosión mayor a 10 m y en la zona de compuertas se tiene una acumulación de 2 m de sedimentos en el margen izquierda. Esto se debe a la forma de ingreso del flujo en esta zona.
Compuertas - 2	Entre estas secciones, existen mayormente zonas de erosión con cambios menores a 0.5 m y pequeñas zonas de sedimentación cerca de la sección 2.
2 - 5	Existen en mayoría zonas de erosión que llegan a 1 m en promedio, principalmente en el eje del cauce. Aunque cabe resaltar que existe un ligero desplazamiento del mismo. Cerca de la sección 5 se puede observar el proceso de erosión, con puntos que llegan a los 5 m.
5 - 6	Zona de evidente erosión con puntos que llegan hasta los 9 m.
6 - 8	Se observa una zona de sedimentación cercana a la sección 6 que llega a 6 m aprox. en el eje del cauce, debido a que se trabajó con una topografía inicial en donde se tenía una depresión en dicha zona. Con dirección a la sección 8 se observan zonas de erosión que no llegan a los 2 m.
8 - 16	El ancho del cauce aumenta, evidenciando la reactivación del comportamiento del fondo, al permitir la operación propuesta.

B.2. Velocidad

Entre la sección 2, y entre las secciones 3 y 8, las velocidades obtenidas son mayores a 1.5 m/s (Fig. 12). En cambio, en las compuertas se puede llegar a obtener una velocidad entre 3.75 y 4.25 m/s. Es importante mantener una velocidad alta para tener un mayor arrastre de sedimentos.

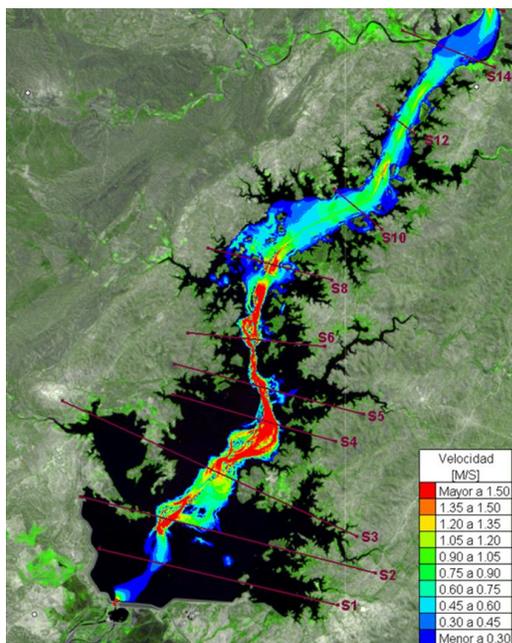


Fig. 12 Velocidades promedio en un fondo móvil.

En la Fig. 13 se observa la tendencia de la velocidad en el eje principal del cauce, mostrando que existe un aumento progresivo de velocidades entre las secciones 3 y 6, en la Tabla IV se muestran las velocidades entre las secciones establecidas en el embalse Poechos.

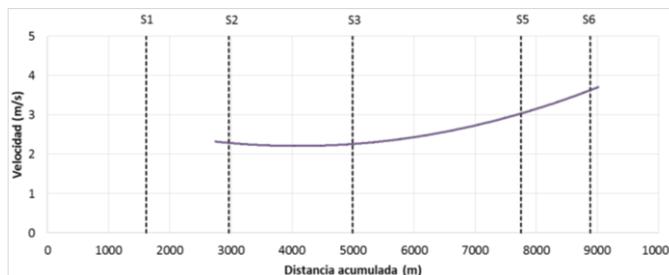


Fig. 13 Tendencia de las velocidades en el eje principal del cauce en un fondo móvil.

TABLA IV
VELOCIDADES EN EL EMBALSE POECHOS EN UN FONDO MÓVIL

Sección	Condición final
Compuertas	En las compuertas se puede llegar a obtener una velocidad de 3.75 m/s.
Compuertas - 2	Las velocidades se encuentran en el orden de 0.1 m/s. El marcado aumento de las velocidades se da cerca de la sección 2, llegando a valores de 2.5 m/s.
2 - 8	Las velocidades obtenidas son mayores a 1.5 m/s en casi toda el área comprendida entre estas secciones, llegando a 3.8 m/s en algunas áreas.
8 - 16	Entre estas secciones, son muy pocas las áreas que superan 1 m/s. Solo cerca de la sección 8 los valores son cercanos a 1.5 m/s.

B.3. Esfuerzo de corte en el fondo

En la Fig. 14 se muestran los esfuerzos de corte en el fondo para un caudal de 900 m³/s en un fondo móvil para el análisis hidrodinámico y sedimentológico.

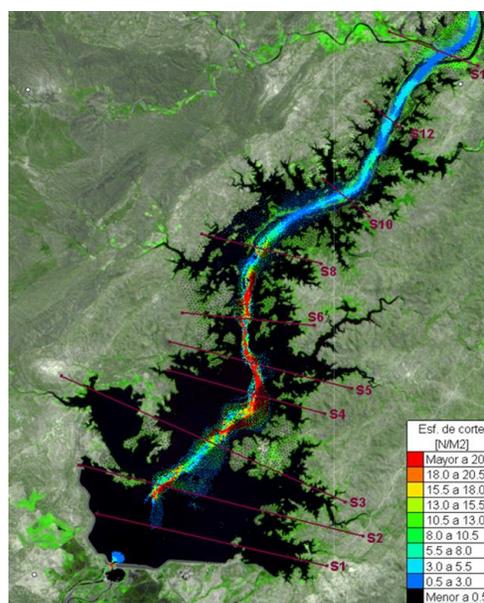


Fig. 14 Esfuerzo de corte en el fondo en un fondo móvil.

En la Fig. 15, se muestra la tendencia del esfuerzo de corte en el eje principal. Los esfuerzos de corte tienden a aumentar desde la sección 3 a la sección 6, siendo los más altos entre las secciones 5 y 6, donde se tienen esfuerzos de corte entre 50 y 65 N/m².

En la Tabla V se muestra los valores de esfuerzo de corte entre las secciones establecidas en el embalse Poechos, para la condición inicial y final de la simulación.

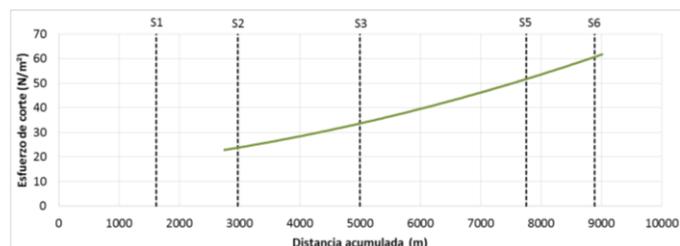


Fig. 15 Tendencia del esfuerzo de corte en el eje del cauce principal en un fondo móvil.

TABLA V
ESFUERZO DE CORTE EN UN FONDO MÓVIL

Sección	Condición final
Compuertas	Los esfuerzos llegan a valores máximos de 60 N/m ² .
Compuertas - 1	Hay un aumento en los esfuerzos de corte cerca de la sección 2, en donde se alcanzan valores de hasta 30 N/m ² .
1 - 2	Hay un notorio cambio en el esfuerzo de corte, pues los valores se mantienen por encima de los 5 N/m ² , llegando a valores de 30 N/m ² .
2 - 6	Es evidente que existe un desplazamiento en el eje del cauce, hacia la margen izquierda. En esta área existen los valores más altos de esfuerzos, que superan los 70 N/m ² .
6 - 8	La zona en donde los esfuerzos de corte son superiores a 60 N/m ² , ha aumentado.
8 - 16	El esfuerzo de corte oscila entre valores de 0.5 a 8 N/m ² .

C. Volumen de sedimentos

De acuerdo al nivel de operación y a los caudales de ingreso al reservorio presentados entre el 16 de noviembre y 26 de diciembre de 2016, que originaban que el canal tenga un fuerte arrastre entre las secciones 2 y 6, se ha obtenido el volumen cuantificable de descolmatación en el embalse, de aproximadamente 7.2 Hm³ de sedimentos.

Esta cantidad de sedimentos se estima sea removida en un tiempo de 14 días. Sin embargo, si la limpieza continuara por aproximadamente 30 días, se esperaría llegar a una cantidad total de 12 Hm³.

Con la aplicación anual, o por lo menos bianual, de la metodología de descolmatación propuesta se prevé conservar la capacidad actual del embalse, pues anualmente ingresan en promedio de 6 a 8 Hm³ de sedimentos.

IV. CONCLUSIONES

La construcción del fondo o geometría del modelo ha sido muy complicada por lo que, se recomienda aumentar las

secciones de medición en embalse, considerando que las secciones están muy separadas dificultando futuras investigaciones. Aumentar las secciones beneficia otras actividades como el cálculo del volumen de operación y la operación misma del embalse. En la actualidad, existen medios tecnológicos que permiten que la actividad de medición de topografía y batimetría sea más rápida. Adicionalmente, se debe abandonar el sistema de referencia OLSA porque dificulta el uso de imágenes satelitales para el estudio del embalse. Se recomienda trabajar con la proyección UTM Datum WGS 84 zona 17S.

Los valores de esfuerzo de corte de fondo actuante más altos se tienen entre la sección 3 y 7, los valores promedio en las secciones oscilan entre 5 a 70 N/m². Con estos valores se tiene una capacidad de arrastre de partículas cuyo diámetro va desde 13 a 188 mm. Considerando que el fondo está constituido por material que tiene un diámetro de d50 de 0.05 mm y d90 de 0.3 mm se espera un gran arrastre de sedimentos. Adicionalmente, los esfuerzos de corte son altos en el ingreso y la salida del aliviadero de compuertas, esto evidencia la capacidad de descarga que tienen las compuertas al estar completamente abiertas.

Se aprecia una fuerte erosión en la aproximación del aliviadero de compuertas. La cota de fondo en esta parte es aproximadamente de 65 a 68 m OLSA. Estos valores deben examinarse con mayor detalle, sin embargo, la erosión hasta estos niveles es posible ya que el fondo inicial, en 1976, de la sección 1 era de 64 m OLSA.

Los resultados no muestran una clara continuidad de transporte de sólido entre las secciones 1 y 2. Aunque se sabía que no se iba a tener capacidad de arrastre en estas secciones, se realizó la corrida en la cota 90, debido a que para el verano de 2017 no se había oficializado esta propuesta de descolmatación y no se operó el embalse a cotas menores. Sin embargo, de ser aceptada e incorporada en las reglas de operación como se propone, se podrían abrir las compuertas y bajar el nivel a la cota 78.5 m OLSA, en los tiempos oportunos que recomiende la modelación hidrológica de pronóstico de caudales de ingreso, permitiendo que el agua circule en esas condiciones sin remanso, con lo que sí se tendrá capacidad de arrastre desde la sección 1 a la 6.

En resumen, de la modelación bidimensional con Open Telemac-Mascaret, se observan las condiciones hidráulicas adecuadas para que se produzca el arrastre de sedimentos en el reservorio Poechos, con flujo a gravedad y pendiente energética suficiente, es decir las condiciones naturales del río.

Se propone incorporar al manual de operación del reservorio Poechos la metodología propuesta. Esta consiste en operar el embalse en la cota mínima posible y mantener las

compuertas abiertas, con la finalidad de que se genere flujo a gravedad y se forme un canal aguas arriba. La periodicidad la determinará un adecuado estudio hidrológico de la oferta hídrica.

AGRADECIMIENTO

El estudio del embalse Poechos se ha desarrollado gracias a un fondo de investigación otorgado por el Ministerio de la Producción del Perú bajo su Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad (PNICP) en contrato N°392-PNICP-PIAP-2014, para desarrollar el proyecto titulado: “Desarrollo de una metodología de descolmatación de un reservorio utilizando la misma energía del agua y a un bajo costo – Caso piloto: Reservorio Poechos”.

REFERENCIAS

- [1] Proyecto Especial Chira Piura (2017, Nov 20). *Proyecto Especial Chira Piura: Página de inicio*. Recuperado de <http://www.chirapiura.gob.pe/proyecto/proyecto>.
- [2] Calle, M. (2016). *Análisis hidrológico del Reservorio Poechos y nivel de atención a los valles del Chira y Piura*. (Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.
- [3] Universidad de Piura. (2017). Informe de Análisis Batimétrico del Reservorio Poechos. Piura: Autor.
- [4] Proyecto Especial Chira Piura. (2016). Medición de Sedimentos 1976 – 2016. Recuperado de <http://www.chirapiura.gob.pe/operacion/batimetria>.
- [5] Google Earth (2018). *Google Earth Engine*. Recuperado de <https://explorer.earthengine.google.com/#workspace>.
- [6] Universidad de Piura. (2017). Conocimiento geomorfológico del canal formado por el embalse aguas arriba de las compuertas. Piura: Autor.
- [7] TELEMAT-MASCARET. (2010, Jun 6). *Open TELEMAT-MASCARET*. Recuperado de <http://www.opentelemat.org/>.
- [8] Proyecto Especial Chira Piura (2011). Afianzamiento del Reservorio de Poechos – Sistema Hidráulico Chira Piura. Piura: Autor.
- [9] Aguilar, R. (2016). Predicción de caudales en el Río Chira con fines de descolmatación del embalse de Poechos (Tesis de Master en Ingeniería Civil con Mención en Recursos Hídricos). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.
- [10] Gonzales, I. (2017). Modelación matemática 1D del proceso de descolmatación en el reservorio de Poechos (Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.
- [11] Reyes, J., & Domínguez, B. (2005). El fenómeno del acorazamiento y su influencia en el arrastre de sedimentos. *Ingeniería hidráulica en México*, XX(1), pp. 29-41.
- [12] Simons, D. B., & Şentürk, F. (1992). *Sediment transport technology: Water and sediment dynamics* (Rev. ed.). Littleton Colo. USA: Water Resources Publications.