

MORFOLOGÍA AGUAS ABAJO DE UNA PRESA

Germán Adrián Aguilar Martínez¹, Óscar Arturo Fuentes Mariles¹, José Luis Aragón Hernández², Cruz Faustino De Luna¹ y Darío Alfredo Hernández Aguilar¹

¹Coordinación de Hidráulica, Instituto de Ingeniería UNAM, México.

²Departamento de Hidráulica, División de Ingenierías Civil y Geomática, Facultad de Ingeniería, UNAM, México.

E-mail: gaguilarm@iingen.unam.mx, ofuentesn@iingen.unam.mx, jaragonh@unam.mx,

dlunac@iingen.unam.mx, dhernandez@iingen.unam.mx

Introducción

La construcción de las presas origina cambios importantes en el cauce tanto aguas arriba como aguas abajo de las mismas. En general, en el embalse cerca de la entrada del río ocurren procesos de sedimentación del material grueso y al aproximarse a la cortina se sedimenta el material fino, mientras que aguas abajo de la cortina toman lugar procesos de erosión del fondo debido a la interrupción del transporte de sedimentos. En este trabajo nos enfocaremos en los procesos morfológicos aguas abajo de la cortina (Figura 1).

En la estimación matemática de algunas modificaciones en la morfología de un río por la construcción de una presa, se emplean las ecuaciones de conservación de la masa y de la cantidad de movimiento en una dimensión para realizar el tránsito hidráulico en cauces. Además, se usa la ecuación propuesta por F. M. Exner para tomar en cuenta la conservación de la masa entre el sedimento en el lecho de un río y el transportado.

La interrupción del transporte de sedimentos por la construcción de la cortina de la presa interrumpe el transporte de sedimentos y también disminuyen los nutrientes adheridos a las partículas, lo que puede originar afectaciones a determinadas especies de flora y fauna aguas abajo.

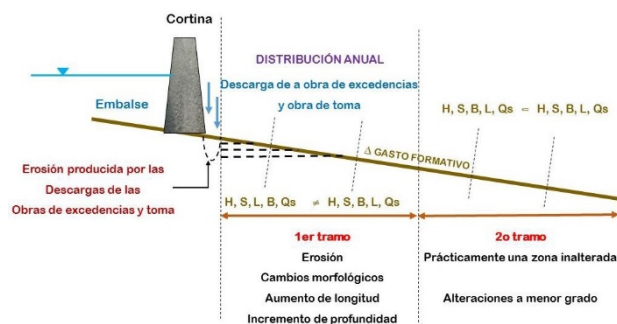


Figura 1.- Morfología de un río aguas debajo de una presa

Objetivo

En este trabajo se pretende determinar la variación del gasto de sedimento grueso (alrededor de 0.2 mm) que llega al final de un tramo de un río con base en la evaluación morfológica del cambio en la pendiente aguas abajo de una presa.

Metodología

Las técnicas de captura de choque tienen la capacidad de evitar la discontinuidad de tipo numérico de la superficie libre del agua. En este trabajo se emplea un esquema de Lax simple en diferencias finitas, hacia adelante en el tiempo y centrales en el espacio.

Ya que las expresiones de transporte de fondo fueron concebidas a partir de mediciones en campo y observaciones en laboratorio, se dispone en la literatura técnica de una importante

cantidad de expresiones para su estimación; en este trabajo se seleccionaron dos, las de Meyer-Peter-Müller, y una relativamente reciente, la de Wu.

Como el cambio de la elevación del fondo en un intervalo de tiempo se aprecia después de varios días, no tiene una influencia inmediata en el área hidráulica y el gasto, por lo que las ecuaciones de flujo y transporte de fondo se resolvieron de forma desacoplada.

Para contar con una idea de la bondad de los resultados del modelo propuesto flujo-sedimento, se comparó la evolución del fondo calculado con los resultados reportados en dos experimentos de laboratorio: degradación (Newton, 1954) y agradación (Figura 2) (El kadi Abderrezzak, 2009).

Para determinar el rendimiento del modelo propuesto se emplea el criterio del puntaje de habilidad de Brier (BSS). Este criterio compara el resultado del perfil longitudinal observado y calculado en un instante dado, a partir que se aleja de la condición inicial. El BSS ha sido identificado como el criterio más apropiado para determinar el rendimiento de un modelo numérico morfodinámico (Danies, 2002).

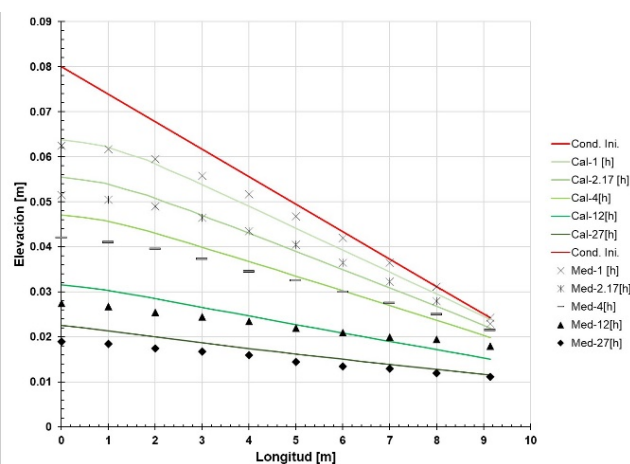


Figura 2.- Evolución del fondo con Wu (Observado vs Calculado)

Caso de aplicación

Finalmente, el modelo flujo-sedimento se aplicó a un caso real, para determinar la morfología de un río con dos enfoques de estudio: en estado natural y bajo la influencia de una presa, con el fin de establecer una comparación. Para ello, se cuenta con una estación hidrométrica con datos de gasto líquido y sólido, formando un punto de control para observar el alcance de la estimación del modelo propuesto.

Cabe destacar que el afluente descarga a una zona de carácter ambiental y económico, la laguna de Mexcaltitán en Nayarit México, e interesa determinar el gasto de sedimento grueso que puede llegar a la misma y con ello estimar la conservación del hábitat de los organismos acuáticos. El tiempo de simulación representado aguas abajo de la cortina fue de 10 años a lo largo del cauce de 71.55 km de longitud conformado de 29 secciones transversales (Figura 3).

Derivado de cuestiones ambientales se analizaron alternativas de operación de demanda variable, en la primera opción analizada se ajustaron los volúmenes de demanda en la temporada de estiaje con base en un análisis ambiental determinándose que el caudal mínimo aceptable para la sobrevivencia de los organismos acuáticos del río es de $30 \text{ m}^3/\text{s}$; y un máximo a operar de $240 \text{ m}^3/\text{s}$.

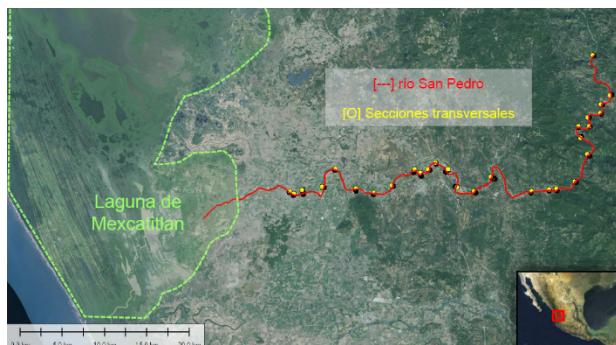


Figura 3.- Ubicación del sitio en estudio, río San Pedro, Nayarit, México.

Resultados

Se estima del río San Pedro, la primera sección, tenga un descenso paulatino del fondo presentando una diferencia de elevación del fondo de 2 m en 10 años; un cambio de pendiente en su perfil de 0.00075 a 0.00077 m/m. Durante los 10 años de simulación, se presenta erosión en sus primeros 10 Km, con un máximo de degradación de aproximadamente de 3 m, material que es depositado en los siguientes 8 Km con un máximo de agradación de prácticamente la misma magnitud. En los próximos 12 Km se presenta el mismo comportamiento erosión-sedimentación en un grado menor. Entre el 30-70 Km el fondo se mantiene prácticamente sin modificaciones (Figura 4). El gasto sólido que entrega el afluente a la laguna con los gastos líquidos de la política de operación se encuentra entre los límites de 0.0003 a 0.0006 m^3/s .

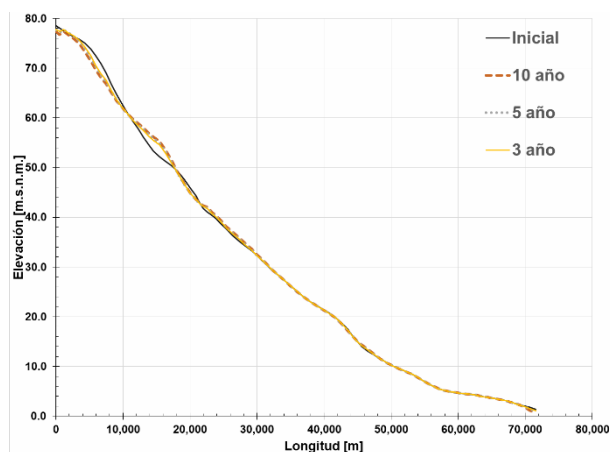


Figura 4.- Evolución del fondo del río San Pedro con la expresión de-Wu.

Conclusiones y recomendaciones

Se desarrolló un modelo flujo-sedimento en 1D que tiene la capacidad de representar la evolución del fondo, en conjunto de los procesos físicos de degradación y agradación, así mismo tiene la capacidad de obtener sedimentogramas en cualquier sección de interés.

Se estudiaron dos fórmulas Wu y MPM distinguiéndose entre ellas: la primera, con la capacidad de estimar el transporte de

sedimentos en el orden de valores observados; y la segunda, requiere de calibración ya que tiende a mayorizar los valores.

El presente estudio del río San Pedro está elaborado con la ausencia del proceso de acorazamiento. El modelo no representa el transporte en la sección transversal, únicamente en la dirección del flujo, tomando en cuenta que la sección es degradada o agradada matemáticamente con sección completa.

Referencias Bibliográficas

Aguilar, M. (2018). *Cálculo matemático, del cambio a largo plazo, de la pendiente de un río aguas abajo de una presa*. Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM, México.

Davies, A. G., L. C. van Rijn, J. S. Damgaard, J. van de Graaff, and J. S. Ribberink (2002). *Intercomparison of research and practical sand transport models*, Coastal Eng., 46, 1 – 23.

Kamal El kadi Abderrezzak, A.P. (2009). *One-dimensional numerical modeling of sediment transport and bed deformation in open channels*, 2009, Water Resources Research.

Maza A. J. A. (1988). *Cambios que sufre un río aguas abajo de grandes presas*. CFE. México.

Meyer-Peter, E., and R. Muller. (1948). *Formules for bed-load transport*, paper presented at 2nd IAHR congress, IAHR, Stockholm.

Newton, C.T. (1951). *An experimental investigation of bed degradation in an open channel*, Trans. Boston Soc. Civ. Eng., 195, 28-60.

Wu, W., D. A. Vieira, and S. S. Y. Wang. (2000). *New capabilities of the CCHE1D channel network model*, ASCE's 2000 Joint Conference on Water Resources Engineering and Water Resources Planning and Management, Minneapolis, Minn.