



Erosión de estructuras ribereñas y su efecto en inundaciones de zonas agrícolas: Una revisión sistemática

Erosion of riverside structures and effect on flooding in agricultural areas: A systematic review

Erosão de estruturas ribeirinhas e seu efeito nas inundações em áreas agrícolas: Uma revisão sistemática

Sleyther Arturo De La Cruz Vega¹

sdelacruz@unab.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0003-0254-301X>

Cristian Milton Mendoza Flores²

cmendoza@unjfsc.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-2298-6224>

Fernando Demetrio Llatas Villanueva³

fernando.llatas@unj.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0001-5718-948X>

José Antonio Garrido Oyola⁴

jgarrido@unjfsc.edu.pe
<https://orcid.org/0000-00002-8191-8600>

¹Universidad Nacional de Barranca. Barranca Perú

²Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Huacho, Perú

³Universidad Nacional de Jaén, Perú

⁴Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Perú

Artículo recibido el 1 de junio 2022 / Arbitrado el 14 de junio 2022 / Publicado el 27 de junio 2022

RESUMEN

Los diversos agentes erosivos, a los cuales son sometidas las estructuras de protección ribereña, aumentan su magnitud cada vez más, debido al constante cambio climático y al desarrollo que se produce en los pueblos cercanos al querer desplazar los cauces naturales y ampliar las zonas de cultivos. Ya que es objeto ingenieril hoy en día la realización de estructuras que tengan la capacidad de soportar las diversas cargas a las cuales sean sometidas de manera directa y moderar los efectos que puedan presentarse en la ribera del río. El objetivo es consolidar la información acerca de la erosión de estructuras y su efecto en inundaciones de zonas agrícolas. Las conclusiones muestran que el estudio de erosión de estructuras ribereñas y su efecto en inundaciones de zonas agrícolas, surge muchos factores que amenazan con el desgaste y la resistencia que pueden tener estas estructuras, provocando de esta manera un colapso inminente y afectando las áreas cultivadas, población y sus habitantes.

Palabras clave: Erosión; Cauce; Diseño; Estructura; Ribera; Agrícola

ABSTRACT

The various erosive agents, to which the riverside protection structures are subjected, increase their magnitude more and more, due to the constant climate change and the development that occurs in the nearby towns when they want to displace the natural channels and expand the cultivation areas. Since it is an engineering object today to carry out structures that have the capacity to withstand the various loads to which they are directly subjected and moderate the effects that may occur on the riverbank. The objective is to consolidate the information about the erosion of structures and its effect on flooding in agricultural areas. The conclusions show that the study of erosion of riverside structures and its effect on flooding in agricultural areas, reveals many factors that threaten the wear and resistance that these structures may have, thus causing an imminent collapse and affecting cultivated areas, population and its inhabitants.

Key words: Erosion; Channel; Design; Structure; Riverbank; Agricultural

RESUMO

Os diversos agentes erosivos, a que estão submetidas as estruturas de proteção ribeirinha, aumentam cada vez mais a sua magnitude, devido às constantes alterações climáticas e ao desenvolvimento que ocorre nas cidades vizinhas quando estas pretendem deslocar os canais naturais e expandir as áreas de cultivo. Sendo hoje objeto de engenharia a realização de estruturas que tenham capacidade para suportar as diversas cargas a que estão diretamente submetidas e moderar os efeitos que possam ocorrer na margem do rio. O objetivo é consolidar as informações sobre a erosão de estruturas e seu efeito nas inundações em áreas agrícolas. As conclusões mostram que o estudo da erosão das estruturas ribeirinhas e o seu efeito nas inundações nas áreas agrícolas, revela muitos fatores que ameaçam o desgaste e a resistência que estas estruturas podem ter, causando um colapso iminente e afetando as áreas cultivadas, a população e os seus habitantes.

Palavras-chave: Erosão; Canal; Desenho; estrutura, ribeirinha, agrícola

INTRODUCCIÓN

Los agricultores de hoy sufren más que nunca por los climas extremos, a pesar de los avances en el pronóstico del tiempo, el uso de satélites meteorológicos y la existencia de modelos informáticos que simulan el clima. Si bien estos extremos pueden volverse más frecuentes debido al cambio climático, la vulnerabilidad también está aumentando por otras razones: aumento de la densidad de población; El mayor uso de tierras marginales para cultivos inadecuados aumenta el potencial de erosión del suelo y conduce a inundaciones repentinas (1).

En algunos países de América del Sur, como Perú y Ecuador, El Niño se conoce como un aumento de la temperatura superficial del mar (SST) en la costa oeste de América del Sur con fuertes lluvias. Anteriormente, se consideraba un fenómeno local. Ahora se reconoce como el principal modificador del cambio climático sobre una base anual en todo el mundo (2).

Estas precipitaciones que de forma seguida logran aumentar el caudal hídrico, provocan la erosión en la tierra por donde discurren los ríos. Dando lugar a inundaciones de zonas de cultivo y destrucción de puentes, bocatomas, márgenes de protección, etc.

Las riberas de un río se irán erosionando a tal grado que las bermas van desapareciendo en una parte significativa. Esta realidad pone en riesgo la totalidad de la estructura y en gran parte, la infraestructura lo que implica una potencial inundación que puedan ocurrir.

El efecto dañino de las inundaciones sobre la agricultura se puede evaluar a partir de la destrucción o afectación de los cultivos que quedan cubiertos total o parcialmente por el agua durante varios días, la presencia de enfermedades y plagas como consecuencia de la humedad persistente en el terreno, la saturación de los suelos o aumento significativo de la humedad de los mismos y la pérdida de rendimiento agrícola de los cultivos y de la producción en general (3).

El propósito de este estudio es consolidar la información acerca de la erosión de estructuras y su efecto en inundaciones de zonas agrícolas.

MÉTODO

La siguiente investigación utilizó el diagrama de flujo PRISMA, que indica la identificación, cribado e incluidos (Figura 1). El producto de la búsqueda en la base de datos utilizados fue de 52,435 publicaciones, detallando a continuación lo que se encontró en cada base de datos: 51,024 fueron por ScienceDirect y 1,411 de SCOPUS. Del total de investigaciones de las dos bases de datos que se indagó, se descartaron 52,401 artículos que no corresponden a lo que se quiere encontrar, ya que fueron excluidos por el título, año, y por área temática. De los 34 que quedaron se descartaron 19, debido a que estos no cumplían con los criterios establecidos en el resumen. Resultando de tal manera 15 artículos seleccionados.

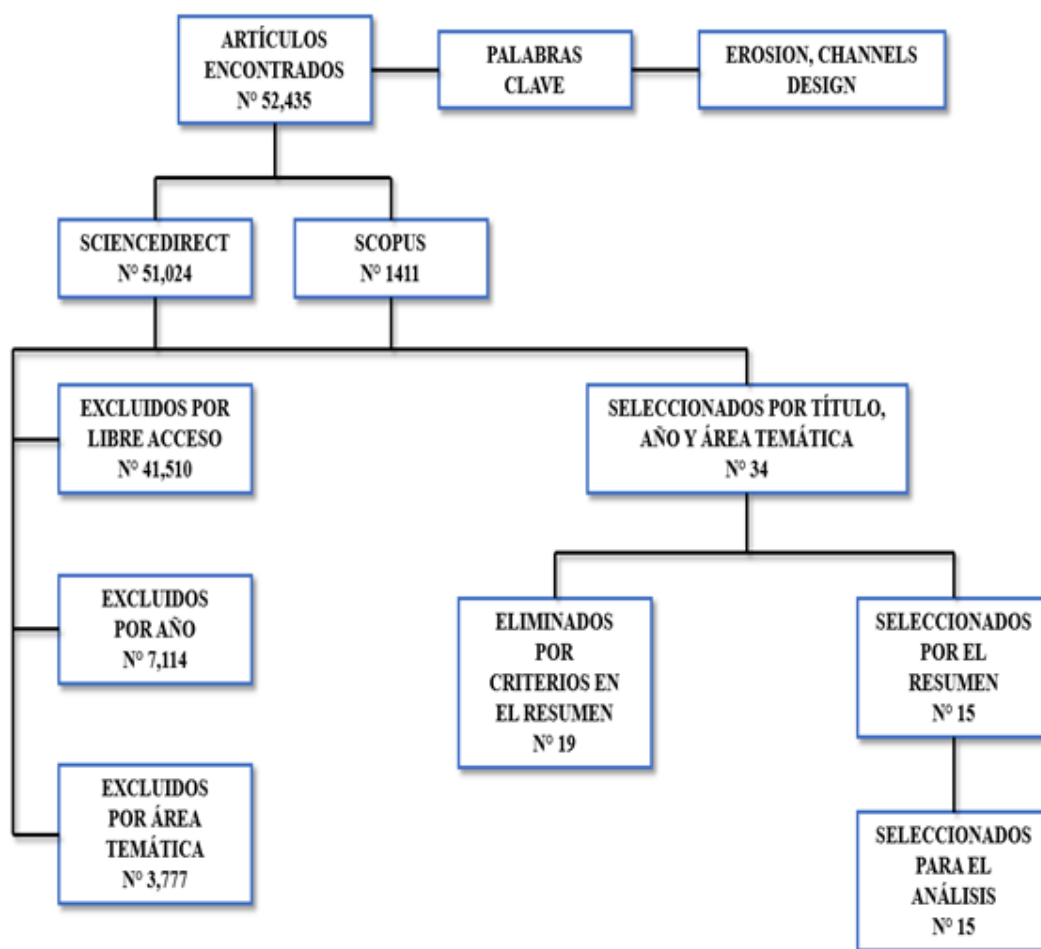


Figura 1. Detalla la estructura de búsqueda que dio como resultado los 15 documentos para el análisis.

Los fundamentos de los datos consultados fueron SCOPUS y ScienceDirect, efectuado entre los años 2018 a 2021; la investigación se efectuó durante los meses de octubre y noviembre del 2021. Las palabras claves utilizadas fueron “Erosión”, “Canales”,

“Diseño”. Estos términos fueron palabras clave y fundamentales para la investigación en cada base de datos.

La Selección de documentos se detalla en la Tabla 1 criterios para esta revisión sistemática (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Criterios de Integración y Eliminación Revisión Sistemática.

Criterios de integración	Criterios de eliminación
Investigación sobre los agentes erosivos, a los cuales son sometidas las estructuras de protección. Estudios relacionados a estructuras de protección.	Estudios con muestras que no presenten características geomorfológicas de cuencas y ríos.

El producto de la búsqueda en la base de datos utilizados fue de 52,435 publicaciones, detallando a continuación lo que se encontró en cada base de datos: 51,024 fueron por ScienceDirect y 1,411 de SCOPUS.

Del total de investigaciones de las dos bases de datos que se indagó, se descartaron 52,401 artículos que no corresponden a lo que se quiere encontrar, ya que fueron excluidos por el título, año, y por área temática. De los 34 que quedaron se descartaron 19, debido a que estos no cumplían con los criterios establecidos en el resumen. Resultando de tal manera 15 artículos seleccionados.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

El poco control en el diseño de las estructuras ha causado numerables dificultades entre ellas la erosión, debido a ello a fin de predecir este comportamiento se empleó la modelación matemática bidimensional TELEMAT, el cual ha confirmado importantes hipótesis del manejo de las obras a realizar. El análisis detallado de los resultados en este modelo muestra que el mismo es capaz de representar adecuadamente el flujo de recirculación en el recinto comprendido entre dos espigones continuos, el cual genera los procesos de evacuación de sedimentos en aquellos sectores, y el movimiento de los núcleos de velocidades máximas hacia el lugar central del cauce, impulsados por el producto deflectante de los espigones planificados, alejando las velocidades máximas de las regiones de bordes (4).

Debido a la erosión que causa el desgaste en las estructuras de protección, se consideró a los espigones como las estructuras más adecuadas, ya que al poseer cualidades lineales, entre ellas la capacidad de permitir el paso de fluido así como también de impedirlo, ubicadas en sentido levemente colateral al cauce, resultaron como las que más controlan la circulación del fluido en la proximidad del margen, modificando este sentido, de manera que disminuyendo la velocidad y consecuentemente la erosión, además se impulsa la sedimentación (5).

A causa de la consecuencia que se tiene en un segmento curvo de trayectoria en un río se propicia la generación de hoyas erosivas, de manera que se propuso soluciones entre ellas las de predecir este comportamiento. Para predecir esta erosión se empleó las ecuaciones de Bormann y Julien, además se debe precisar que se cuenta con el apoyo de enrocados en los bordes derecho e izquierdo a través del cual se inspecciona la erosión en los bordes del cauce en ciertos puntos. Según los resultados de M. V. Reyes, J. M. Kuroiwa, L. F. Castro, esta investigación empírica propone que, en segmentos curvos donde existe mayor presencia de crecidas a causa de las lluvias, así como de una inclinación sólida, y que han sido resguardados con elementos de forma transversal, se originan erosiones en el mismo punto más hondos que en segmentos rectilíneos. A fin de realizar una comparación, se usó la ecuación de Bormann, así como también la de Julien y se

comprobó que estos problemas causados por las erosiones estudiadas en esta investigación eran despreciadas. Sin embargo, se verificó que al emplear un valor de cuatro originaría una envolvente que podría emplearse para propósitos de diseño (6).

Debido a la ineficacia y del riesgo residual que existen sobre casos de colapso ante la protección de riveras en el río, el estudio determinó que las herramientas de simulación son lo más conveniente para estimar la eficacia de las presas de control ya que ayudó a pronosticar el riesgo residual en el caso de colapso de la medida de protección, así mismo pudo propagar la dinámica de los movimientos masivos en todo lo extenso de una topografía definida dado un grupo de datos de entrada (7).

Este autor (8) Encontró dos problemas que afectan la protección de riberas de río: el desgaste entre la orilla y la corriente de agua, y la abundante capacidad de desgaste de la corriente de agua. Por ende, según su estudio llegó a la conclusión que construir muros de contenciones (gaviones) ayudan a mejorar la protección de la ribera teniendo en cuenta que se usó el método de Coulomb para el diseño del muro, que estima la existencia de un roce entre el muro y el suelo.

Así como un autor (9) descubrió que en las estructuras de defensas ribereñas surgen muchos socavamientos y erosión al pie de la obra, por ello determinó que para evitar todos esos problemas es primordial construir gaviones modelo colchón, dando como resultado que estos elementos ubicados

delante de la estructura, al sufrir una alteración, acompañan la erosión y desgaste del fondo, previniendo de esta manera que este llegue a la base de la estructura y la desestabilice.

El estudio muestra canales asimétricos que presentan un flujo de dos fases con masas o volúmenes variables de agua y aire, los cuales están sometidos a cambios de temperatura por radiación térmica, que afectan de manera directa tanto la velocidad de deslizamiento y temperatura del fluido que transporta partículas. El estudio determinó que la velocidad de la partícula en el canal se reducirá ya sea por aumento en el parámetro magnético, en el número de Reynolds (ya sea el del flujo cruzado o el normal) o el coeficiente de arrastre, determinó también que a medida aumente la relación entre las fuerzas de flotación y las fuerzas viscosas actuantes, la fuerza viscosa dominará las partes del canal que no se conectan, mientras que las fuerzas térmicas dominarán en las que si lo hagan, se llegó también a la conclusión que el aumento en el parámetro de radiación iba disminuir la temperatura presente en la fase de las partículas, cuando aumenta la influencia del parámetro de interacción de las partículas fluidas y la relación de densidades el coeficiente de fricción cutánea disminuirá (10).

Mediante los estudios realizados con el fin de comprobar si el modelo LBM en el cual usa dos funciones de equilibrio distribuidos, una para escorrentía en la cuenca y otra para la sección del canal, presentaba similitud en cuanto a los resultados obtenidos con

el programa de modelamiento KINEROS2, se llegó a la conclusión que el programa se podía aplicar para el modelamiento de escurrimientos y pérdidas de partículas transportadas. El modelo que se propuso para llevar a cabo dicha comparación resultó ser el más eficaz al momento de simular la escorrentía superficial en la cuenca analizada y se tuvo en cuenta en la cuenca, que los caudales de salida eran menores a los esperados, ya que fue netamente por los valores numéricos que se asumió durante el estudio (11).

También este autor (12), menciona que a través de realizar distintas pruebas sobre los modelos de deslizamiento de tierras (LD) se validó un método numérico para la evaluación de estos. El primer resultado importante que destacar es que mientras mayor sea el contenido de materiales finos mayor será la retención de agua de los distintos materiales LD y sería una buena clasificación de los tamaños de poros, si existiera un menor contenido de materiales finos. La segunda conclusión a la que se llegó en este artículo nos menciona que el método numérico que se propuso para evaluar las fallas de los LD es muy acertado, debido a que son muy similares a los resultados que se obtuvo de las pruebas realizadas. También, como tercer resultado, se tiene que al existir un incremento del nivel de agua ocurre un asentamiento del LD bien graduado provocando erosión y es así como colapsa el talud. Finalmente, en el último resultado se nos menciona que los datos obtenidos mediante la indagación numérica brindan información de carácter cualitativo de

los mecanismos de falla de los LD que fueron sometidos a una carga de filtración, esto a causa de que la información de las pruebas de canal fue limitada.

Mediante un estudio realizado por Morán *et al* las técnicas de protección de presas implican diferentes adaptaciones de los diseños de las presas para protegerlas de mecanismos de rotura previsibles con el fin de mejorar su seguridad. Se utilizó una metodología de diseño de protecciones de pie de escollera con una serie de pruebas para respaldar el método. Como resultado se obtuvo que la protección de escollera se extiende desde la punta (0 en el eje Bc/L) hasta el punto P (LP/L en el mismo eje) para cada caso de validación, los daños afectan al material de la presa protegida desde el momento en que ese camino de falla supera dicho punto (13).

Al realizar un estudio de las presas de escollera, se analizó en el caso de un caudal externo, siendo las causas los desbordamientos, la erosión interna de un núcleo arcilloso o el agrietamiento de una cara impermeable, se desarrolla un perfil de superficie freática dentro del hombro de escollera aguas abajo debido a su alta permeabilidad. Se emplearon modelamientos en base a métodos numéricos para simular la corriente de desborde y obtener la conducta posterior en la zona de falla. Como resultado se propuso un autómata celular para el estudio de la rotura progresiva del espaldón aguas abajo de presas de escollera provocada por caudales de desbordamiento, erosión interna o falla de caras impermeables (14).

De acuerdo a una investigación que se realizó en el manto refrigerado por agua de la instalación experimental de fusión, muchos canales de flujo paralelos para la transferencia de calor. La principal causa está en la primera pared, ya que enfrentan un flujo de calor muy alto, los canales de flujo rectangulares paralelos. Se utiliza un método de simulación de bloque de flujo de entrada virtual para evaluar diferentes acciones bloqueadas. Como resultado se trata de la temperatura máxima en el dominio sólido, que se produce en la ebullición en el canal bloqueado (15).

En este estudio de la erosión hídrica, de la formación de canales como riachuelos y cárcavas. Los terrenos cultivables se ven duramente afectados por la creación de sistemas de canalización, ya que estos atacan significativamente a la topografía del terreno. Mediante experimentos realizados en lotes destinados para cultivos se midió el desplazamiento que presentaban dichas zonas empleando diversos tratamientos, en base a la zona de ubicación de la cuesta, y con diversos tratamientos para el canal con espesores respectivos. Los resultados sugieren que, si los canales se forman por la erosión del agua, la labranza de contorno sería mejor que las de cuesta abajo y cuesta arriba para reducir la translocación de labranza y llenar el canal, ya que es útil para mejorar el modelado de la erosión del agua y la labranza (16).

Ante el problema que origina la viscosidad cinemática la cual causa el decrecimiento en el ancho del lecho y la elevación de la temperatura. Se sugiere que en lugar de usar la ecuación de Manning, se utilizar la ecuación

de Chezy o la ecuación de resistencia de Swamee para así encontrar el diseño del canal sin socavación. Como resultaron obtuvieron un mejor diseño de sección de canal sin socavación utilizando redes neuronales, la cual se da en el punto 3 (punto en el cual varían las dimensiones y los cortes en el lecho del canal) ya que asegura que no haya movimiento de sedimentos en el lecho del canal y que no haya riesgo de socavación (17).

A causa del desgaste en los sistemas de tuberías puede ocurrir algo catastrófico tales como inundación de una casa, esto se debe a la erosión hay muchos factores como por ejemplo la forma, concentración y el tamaño de las partículas individuales y las condiciones del flujo. Por ello utilizaron los modelos de corte de Finnie para tener en cuenta la evolución de la erosión. Como resultado el modelo simple es capaz de proporcionar rápidamente a largo plazo predicciones sobre las erosiones (18).

Posterior a la revisión sistemática de los artículos seleccionados, se encontraron ciertas similitudes entre ellos: dichos artículos están orientados principalmente a brindar un mejor análisis al momento de realizar las estructuras de protección, considerando parámetros específicos del fluido y asumiendo comportamientos críticos que pueda presentar el canal. Por otro lado, apoyados principalmente por software de modelamiento se asumen ciertas características en base al diseño que se requiere para la estructura de protección, dando así un mayor índice de confiabilidad frente al comportamiento que pueda tener dicho elemento.

Según los autores (13,14), las presas requieren de distintitos diseños para protegerlas, ambas investigaciones seleccionaron como estructura de protección las escolleras, debido a su alta permeabilidad, ya que así evitan los desbordamientos, erosiones o agrietamientos, resultando ambos métodos aplicados eficientes obteniendo un esquema de rutas de fallas en las presas, representadas en las pruebas de validación, y afectando a las presas con daños a la estructura una vez pasado el avance máximo de rotura.

Otro autor (5) consideró a los espigones como las estructuras más adecuadas, ya que, al presentar características específicas colocadas estratégicamente en sentido secundario al cauce, resultaron como las que más controlan la circulación del fluido a lo largo de la ribera del río, controlando la dirección del flujo, disminuyendo tanto la erosión, como la sedimentación. Por otro lado, (4) se demuestra que el modelo TELEMAC es capaz de representar adecuadamente el flujo de recirculación en el recinto comprendido entre dos espigones continuos impulsados por el producto deflector de los espigones planificados, alejando las velocidades máximas de las regiones de bordes.

Según (8), demuestra que el uso de gaviones es eficaz en el mejoramiento a la protección de la ribera indicando el procedimiento detallado del método a realizar, al igual que este autor (9), quien mediante gaviones tipo colchón ayuda a mejorar las estructuras de defensas ribereñas previniendo de esta manera muchos socavamientos y erosiones.

Otro autor (10), menciona la importancia de conocer los parámetros magnéticos, coeficiente de arrastre, y parámetros de radiación. Por otro lado, (17) basándose en la ecuación de Chezy o ecuación de resistencia de Swamee buscó reducir la viscosidad cinemática. Ambos estudios en sus resultados, nos describen el comportamiento que tendría el fluido al ser sometido a cambios de temperatura, la cual al entrar en contacto con la medida de protección en análisis puede generar socavaciones, o en el arrastre de sedimentos que a la larga presentaría comportamiento erosivo.

CONCLUSIÓN

El estudio de la erosión de estructuras ribereñas y su efecto en inundaciones de zonas agrícolas, brinda muchos factores que amenazan con el desgaste y la resistencia que pueden tener estas estructuras, provocando de esta manera un colapso inminente. Por ello, para prevenir tales hechos, es importante contar con herramientas de modelamiento tales como el TELEMAC, LBM, KINEROS2 y así también apoyarse de modelamientos numéricos, que nos permitan evaluar el comportamiento de la estructura de protección elegida.

En este estudio la construcción de gaviones, y espigones como las estructuras de protección más eficaces, ya que un correcto modelamiento y análisis, mejora los tiempos de vida de cada una de las estructuras con una correcta aplicación de cada elemento, permitiendo así que las riberas de los ríos

no presenten velocidades significativas que puedan causar arrastre de sedimentos, comportamientos erosivos y socavaciones.

Estas nuevas estructuras pueden minimizar las posibles inundaciones, que puedan afectar el área de los cultivos cubriéndolas con agua durante varios días, proliferando enfermedades y plagas como consecuencia de la humedad persistente en el terreno y provocando la pérdida de rendimiento agrícola de los cultivos.

REFERENCIAS

1. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) [Internet]. *Agua y cultivos. Inundaciones y sequías*. Roma. 2002. Disponible en <https://www.fao.org/3/Y3918S/y3918s01.htm>
2. Ministerio de Ambiente. *El fenómeno EL NIÑO en el Perú*. 1era Edición. Lima; 2014.
3. Damaso R, Andrés C. La vulnerabilidad del sector agrícola frente a los desastres Reflexiones generales. *Zonas Áridas*. 2007;11(1):174–194.
4. Farías H, Domínguez L, Prieto J. Modelación de un río para identificar el desempeño de obras de control de erosión. *FDCEyT-UNSE*. 2018;1: 2490–3181.
5. Horna D, Constantines G. Búsqueda numérica de eventual erosión provocado por socavación por presión. *Hidrociencia e Ingeniería*. 2018; 1:1934–1940.
6. Reyes M, Kuroiwa J, Castro L. Desgaste de aguas abajo en tramos curvos: búsquedas iniciales. *Hidrociencia e ingeniería*. 2018; 1: 2018–2025.
7. Baggio T, D'Agostino V. Simulación del efecto del colapso de un dique de contención en un canal de flujo de escombros. *Ciencia el Medio Ambiente Total*. 2021; 1: 3–12.
8. Bigham K. Diseño, investigación y monitoreo de la estabilización de la ribera: el estado actual y las necesidades futuras. *Asaie*. 2020; 23(2): 355–387.
9. Tsegaye L, Bharti R. Evaluación de la erosión del suelo y la producción de sedimentos utilizando RUSLE y un enfoque basado en GIS en la cuenca hidrográfica de Anjeb, noroeste de Etiopía. *SN Ciencias Aplicadas*. 2021; 3(5): 1–12.
10. Mallikarjuna B, Subba S, Ramprasad S. Efectos de velocidad y deslizamiento térmico en flujos bifásicos radiactivos convectivos MHD en un canal asimétrico no uniforme. *Investigación de propulsión y potencia*. 2021; 1(2):127–139.
11. Galina V, Cargnelutti J, Kaviski E, Gramani L, Lobeiro A. Aplicación del método reticular de Boltzmann para escorrentía superficial en cuencas hidrográficas. *Scipedia*. 2018; 24: 5–13.
12. Xiong X, Shi Z, Guan S, Zhang F. Mecanismo de falla de la presa de deslizamiento de tierra no saturada bajo carga de filtración: pruebas de modelos y simulaciones numéricas correspondientes. *Suelos y Fundaciones*. 2018; 52(5): 1133–1152.
13. Morán R, Toledo M, Larese A, Monteiro R. Un procedimiento para diseñar protecciones de pie para presas de escollera contra flujos continuos extremos. *Estructuras de ingeniería*. 2019; 155: 420–411.
14. González I, Monteiro R, Morán R, Toledo M. Modelado de autómatas celulares de fallas de presas de escollera causadas por desbordamiento o cualquier otro caudal extremo. *Engineering Structures*. 2021; 247: 2–12.
15. Li X, Peng C, Guo Y. El análisis de accidentes de bloqueo del flujo de entrada en el canal de flujo rectangular de la manta enfriada por agua. *Ingeniería y diseño de fusión*. 2021; 151: 1–10.
16. Zheng F, Lobb D, Li S. Un estudio de parcela sobre los efectos de los canales erosionados por el agua en la translocación de labranza. *Soil and Investigación de labranza*. 2021; 223: 1–8.

17. Tawfik A. Mejor diseño de sección de canal sin socavación utilizando redes neuronales artificiales. Revista de ingeniería ain shams. 2021; 1(2): 1273–1281.

18. Herterich J, Griffiths I. Un modelo matemático del proceso de erosión en un codo de canal. Tribología internacional. 2021; 61: 1–22.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.