

Control de flujo de detritos por medio de barreras dinámicas en el trópico, como medio de adaptación al cambio climático, cantón central de Aserri, quebrada Burío

Control of debris flow through dynamic barriers in the tropic, as a means of adaptation to climate change, Burío stream in Aserri

David Borge-Leandro¹, Alejandro Antonio Morera-Delgado²

Fecha de recepción: 18 de octubre, 2021

Fecha de aprobación: 23 de febrero, 2022

Borge-Leandro, D; Morera-Delgado, A.A. Control de flujo de detritos por medio de barreras dinámicas en el trópico, como medio de adaptación al cambio climático, cantón central de Aserri, quebrada Burío. *Tecnología en Marcha*. Vol. 36, N° 2. Abril-Junio, 2023. Pág. 155-168.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v36i2.5844>

1 Universidad Fidélitas de Costa Rica. Costa Rica.

Correo electrónico: dborge80034@ufide.ac.cr
<https://orcid.org/0000-0001-9157-8438>

2 Universidad Fidélitas. Costa Rica.

Correo electrónico: alemoreradelgado@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1204-5110>

Palabras clave

Flujo de detritos; sedimento; barrera dinámica; sólidos suspendidos; periodo de retorno; cambio climático.

Resumen

Al 2020 en Costa Rica únicamente, existen tres barreras dinámicas instaladas, dos de las cuales se encuentran en la Quebrada Burío. El cambio climático es un factor determinante ante el incremento de las intensidades de lluvia. Se espera un incremento del 20% para el año 2100 por lo que este dato se toma en cuenta para realizar todos los cálculos hidrológicos del caso de estudio. Al mismo tiempo, la implementación del modelo de Iber 2.5.1 es totalmente necesaria para la comprensión del comportamiento hidrodinámico de la quebrada y asimismo del comportamiento de los sedimentos en suspensión de ésta. Datos como hidrogramas, elevaciones obtenidas por medio de ortofotos de vuelos de aeronaves no tripuladas y concentración de sedimentos son los pilares para generar un modelo para este caso. La velocidad, altura del agua y comportamiento vectorial son los resultados obtenidos del modelo hidrodinámico generado por Iber 2.5.1. Así como el comportamiento de los sedimentos.

Keywords

Debris flow; sediment; dynamic barrier; peak flow; suspended solids; return period; IPCC; climate change.

Abstract

As of 2020 in Costa Rica only exist their dynamic barriers installed, two of them are in Quebrada Burío. Climate change is a determining factor in the face of the increase of rainfall intensities. An increase of 20% is expected for the year 2100, so this data is taken into account to perform all the hydrological calculations of the case study. At the same time, the implementation of Iber 2.5.1 model is totally necessary to understand the hydrodynamic behavior of the stream and also the behavior of its suspended sediments. Data such as hydrographs, elevations obtained through orthophotos of drone flights, and sediment concentration are the pillars to generate a model for this case. The speed, height of the water and vector behavior are the results obtained from the hydrodynamic model generated by Iber 2.5.1. As well as the behavior of sediments.

Introducción

El presente trabajo tiene como fin general determinar el comportamiento de flujo de agua de la quebrada Burío en el cantón central de Aserrí a la cual se colocaron dos barreras dinámicas contra flujos de detritos, así se logra el conocimiento para relacionarlo con otras zonas con características similares en que estas barreras puedan ser colocadas [1] [2].

De esta manera, se modela el comportamiento del río por medio del software IBER 2.5.1 como principal variable el periodo de retorno de 100 años +18% de incremento en la intensidad de lluvias para obtener información de valor sobre lo que sucede en la zona de la barrera en casos de mayor demanda, y si es necesario, tomar las medidas de prevención [3] [4] [5] [6] [7].

Con este estudio se caracterizó el comportamiento que tiene en conjunto el flujo del río y la barrera dinámica en una zona como Costa Rica, con las cualidades propias de la zona.

También se determinaron datos valiosos para próximos diseños de barreras dinámicas en el país, pues, se logra exponer información básica, tener conocimiento del desempeño de las barreras, así, tener un diseño más atinado tomando en cuenta las condiciones climáticas, geológicas y de relieve de la zona de Aserrí. Con esto se puede relacionar otros casos con condiciones similares, asegurar un diseño adecuado para la zona, se permite un diseño idóneo para la vida útil de la barrera, lo más importante, con la posibilidad de prever con mayor criterio, certeza daños materiales y sobre todo, pérdidas de vidas por un desastre natural [3] [4] [1] [8] [9].

Materiales y métodos

La cuenca de la Quebrada Burío se ubica en la provincia de Aserrí, Aserrí Centro, San José (ver figura 1). Es una microcuenca que tiene como área total de drenaje de 2,67 Km² y un perímetro de 9,1 Km.



Figura 1. Cuenca Quebrada Burío.

El desbordamiento de la quebrada es un fenómeno frecuente y especialmente en épocas de invierno, Quebrada abajo se encuentran una cantidad considerable de viviendas y hasta una de las escuelas de Aserrí. Muchas de estas estructuras se encuentran en el borde del cauce de la quebrada. La preocupación de la municipalidad y de la Comisión Nacional de Emergencias por el peligro inminente de la falta de precaución y planificación en la zona, a lo que también se le suma el factor de cambio climático y el incremento en intensidad de lluvias llevaron a dichas entidades colocar barreras dinámicas como método preventivo.

Fuentes de información

La información utilizada para el estudio proviene de las siguientes fuentes:

- Visitas al sitio de estudio, donde se realiza una caracterización, también clasificar y observar cualidades de la zona pertinentes a la investigación realizada, asimismo con vuelos de dron, recolección de muestras de suelos, análisis de las barreras en sitio, etcétera, para lograr una mayor cantidad de información y obtener datos relevantes y lo más exactos posibles.
- Referencias bibliográficas y referencias técnicas. Para el caso de las bibliográficas consta de información obtenida de libros, artículos de revistas, archivos en PDF de entidades confiables, publicaciones científicas, tesis. Para el caso de las referencias técnicas es por medio de, fichas de instalación, manuales catálogos de los productores, información de materiales facilitada por los productores.

- Entrevistas, a personas capacitadas sobre el tema a desarrollar en la investigación.
- Las principales muestras de estudio son tres tormentas en la zona de San José Costa Rica, cada una con una duración de 30 minutos y determinada por la ecuación del estudio de 20 años del señor Vahrson Mora [10] y colaboradores. Dichas tormentas corresponden al periodo de 100 años, y se toma en cuenta que la tormenta que incluye incremento del 18 % en la intensidad de lluvias por el cambio climático.

Diseño

El presente trabajo, primeramente, lleva una investigación teórica extensa para manejar con mayor claridad las características de las barreras dinámicas y de la zona de estudio, problemas, ventajas y diversa información que la literatura puede indicar. Luego se realiza una serie de entrevistas a expertos del tema para lograr un conocimiento más amplio y por ende generar un criterio basado en teoría y práctica.

Una vez con toda la información se procedió a hacer visitas al sitio y extraer información necesaria para hacer el modelo hidrodinámico en el programa Iber 2.5.1 para cumplir los objetivos planteados.

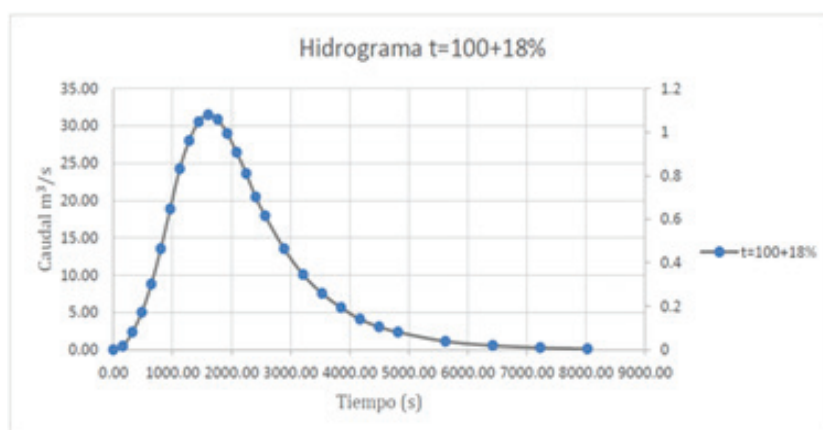


Figura 2. Hidrograma Barrera #1 t=100+18% incremento en intensidad de lluvias.

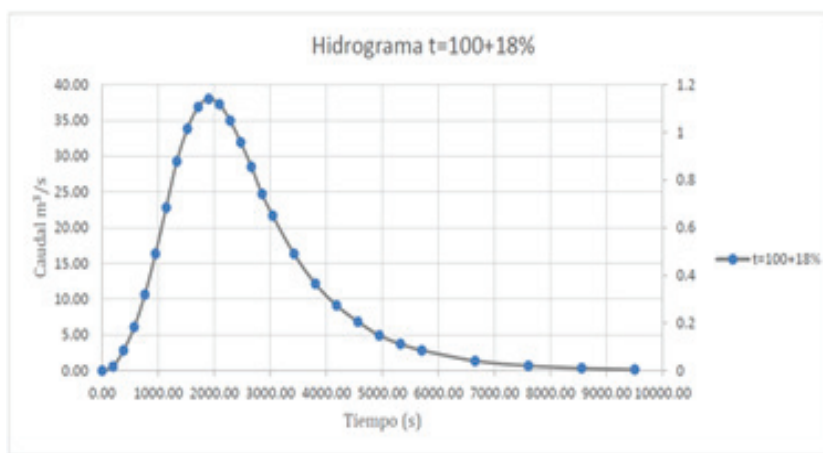


Figura 3. Hidrograma Barrera #2 t=100+18% incremento en intensidad de lluvias.

Sedimentos

Para obtener la concentración media de sólidos en gramos por metro cúbico se realiza una correlación basándose en la investigación del señor Salamea en el año 2015 [9] titulada, Modelamiento Bidimensional Hidrodinámico del flujo y transporte de sedimentos a través del Río Calabí y Obras Hidráulicas [9].

En dicha investigación se expone una tabla de concentración de sedimentos por caudales observados, como se muestra en el cuadro 1 [9] [10].

Cuadro 1. Concentración media Río Calabí [9]

Q (m ³ /S)	Concentración media (g/m ³)
72.80	0.032
315.35	0.264
186.75	0.119
49.78	0.029
34.47	0.040
17.61	0.011
11.95	0.002
7.95	0.017
7.91	0.009
3.10	0.014

Igualmente, como se muestra en el cuadro 2, aporta la granulometría obtenida del muestreo del río, la cual, se adjunta seguidamente: [9]

Cuadro 2. Granulometría Río Calabí [9].

Diámetro del tamiz (mm)	Diámetro del tamiz (malla #)	Peso retenido (g)	Peso retenido corregido (g)	Peso retenido acumulado (g)	Porcentaje de material retenido acumulado	Porcentaje de material que pasa
50.8	2"	188.00	188.00	188.00	4.79%	95.21%
38.1	1 1/2"	524.00	524.00	712.00	18.14%	81.86%
25.4	1"	660.00	661.00	1373.00	34.99%	65.01%
19.05	3/4"	359.00	369.00	1732.00	44.14%	55.86%
12.7	1/2"	417.00	417.00	2149.00	54.77%	45.23%
9.53	3/8"	222.00	222.00	2371.00	60.42%	39.58%
4.75	Nº 4	357.00	357.00	2728.00	69.52%	30.48%
Pasa #4		1196.00	---	---	---	---
2	2	81.63	81.67	81.67	75.73%	24.27%
1	1	69.69	69.69	151.35	81.02%	18.98%
0.71	Nº 25	41.08	41.08	192.43	84.15%	15.85%
0.5	Nº 35	49.33	49.33	241.77	87.90%	12.10%
0.355	Nº 45	59.70	59.70	301.47	92.43%	7.57%
0.25	Nº 60	59.34	59.34	360.81	96.94%	3.06%
0.18	Nº 80	19.00	19.00	379.81	98.39%	1.61%
0.125	Nº 120	12.41	12.41	392.22	99.33%	0.67%
0.09	Nº 170	4.89	4.89	397.11	99.70%	0.30%
0.063	Nº 230	2.36	2.36	399.46	99.88%	0.12%

De modo que, si se tiene en cuenta, estos datos toman como referencia la concentración media de 0.032 g/m³ y el caudal de 72.80 m³/s. Así como los valores de la granulometría del tamiz #4, debido a que este nos suministra una referencia de la cantidad de arena que presenta la muestra.

Para esta investigación se efectúa un estudio de laboratorio de muestras del lecho de la Quebrada Burío, se consigue, la granulometría indicada en el cuadro 3.

Cuadro 3. Granulometría Quebrada Burío.

Tamiz N°	% retenido	% pasado
2"	1.3%	98.6%
1"	7.9%	90.7%
3/4"	3.7%	87%
1/2"	12%	74.7%
3/8"	5.9%	69%
1/4"	13.4%	55.6%
4	5.1%	50.4%
8	12.4%	38.1%
16	10.3%	27.8%
30	11.5%	16.4%
50	9%	7.3%
100	2.6%	4.7%
200	2.7%	1.9%
Charola	1.9%	0%

Para efectos de la Quebrada Burío un 50,4 % del material del lecho del cauce pasa la malla o tamiz #4 y en la investigación de Salamea (2015) corresponde a un 30,48 % de material pasando el mismo tamiz, eso quiere decir que existe una diferencia de 19.92 % de material tipo arena [9].

Tomando en cuenta la diferencia de 19,92 % y la concentración media de 0,032 g/m³ y el caudal de 72,80 m³/s brindada por el estudio de Salamea (2015). Se procede a aumentar el 0,032 g/m³ de concentración media un 19,92 %: $0,032 * 1,1992 = 0.038 \text{ g/m}^3$

Se logra así la concentración media de 0.038 g/m³ para un caudal de 72,80 m³/s en condiciones de la Quebrada Burío. Con estos datos se cumple con la siguiente ecuación:

$$72,80 = Q \cdot 0,038 \cdot X$$

Donde:

Q: Caudal obtenido de los hidrogramas

X: Concentración media de sedimentos suspendidos g/m³ (dato por averiguar)

Elevaciones por medio de DTM (figuras 4 y 5)

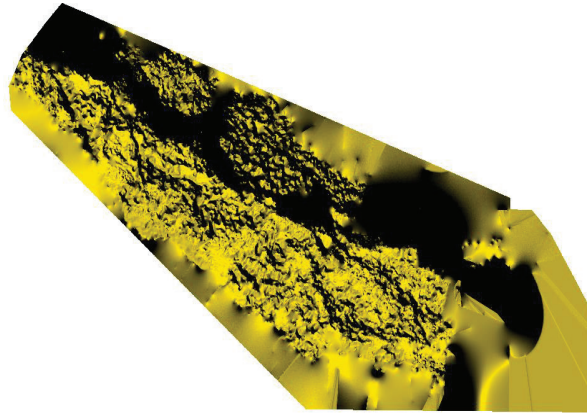


Figura 4. DTM Quebrada Burío Barrera #1.

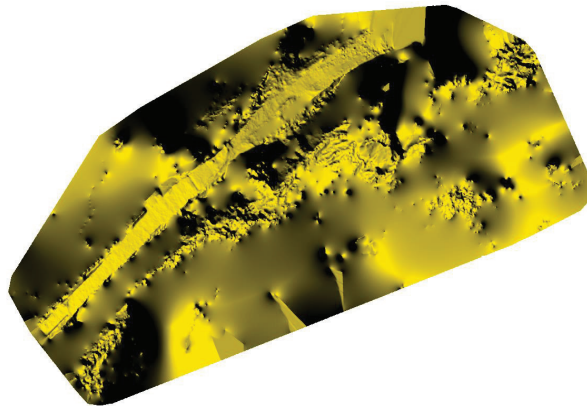


Figura 5. DTM Quebrada Burío Barrera #2.

Resultados

Barrera #1: Todos los resultados tomados del modelo en Iber 2.5.1 son correspondientes al segundo 1605, ya que, es en el instante que presenta mayor caudal, por lo tanto, el momento más crítico.

Se muestran los resultados de velocidad, calado y comportamiento vectorial de la barrera #1 en los dos periodos de retorno (50 y 100 años) y el caso de incremento de intensidad de lluvia por el cambio climático.

Las imágenes corresponden al orden de $t = 50$ años superior izquierda, $t = 100$ años superior derecha, $t = 100$ años + 18 % inferior centro (figura 6).

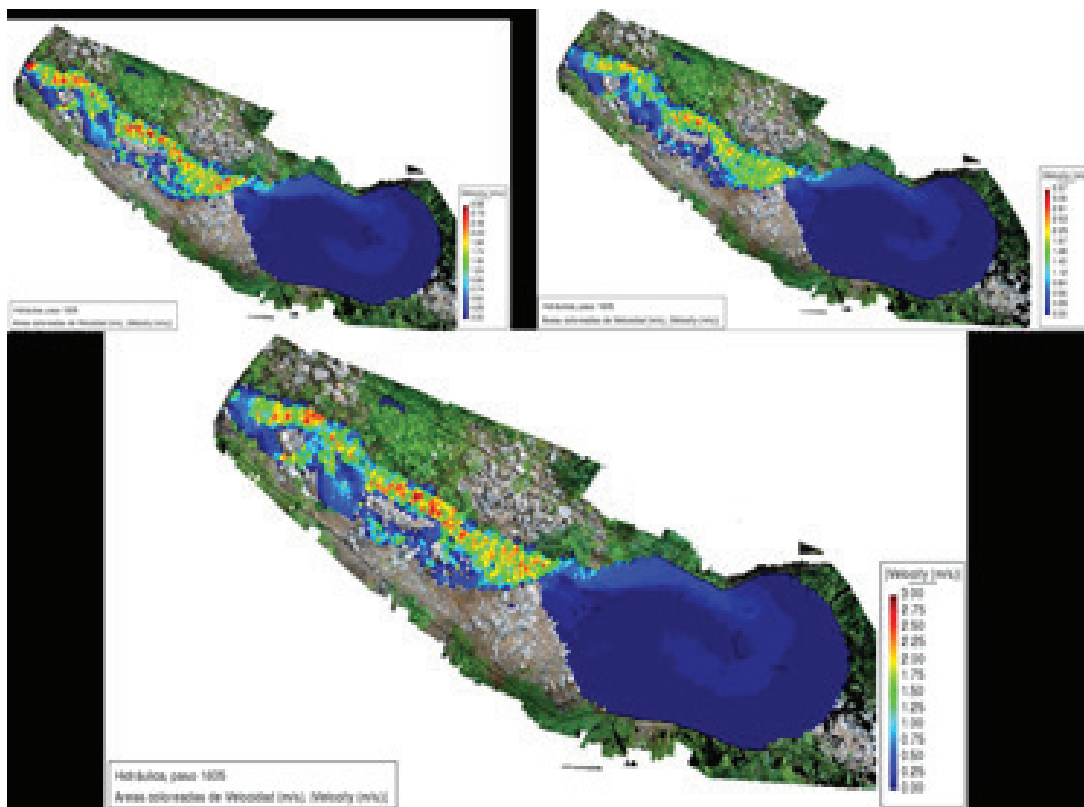


Figura 6. Velocidades Barrera #1 según modelo.

Es notorio cómo la barrera genera una especie de represa donde la velocidad se reduce a valores aproximados a 0 m/s. Las velocidades máximas en el instante de estudio corresponden a $t = 50$: 2,98 m/s $t = 100$: 3,37 m/s $t = 100 + 18\%$: 3 m/s

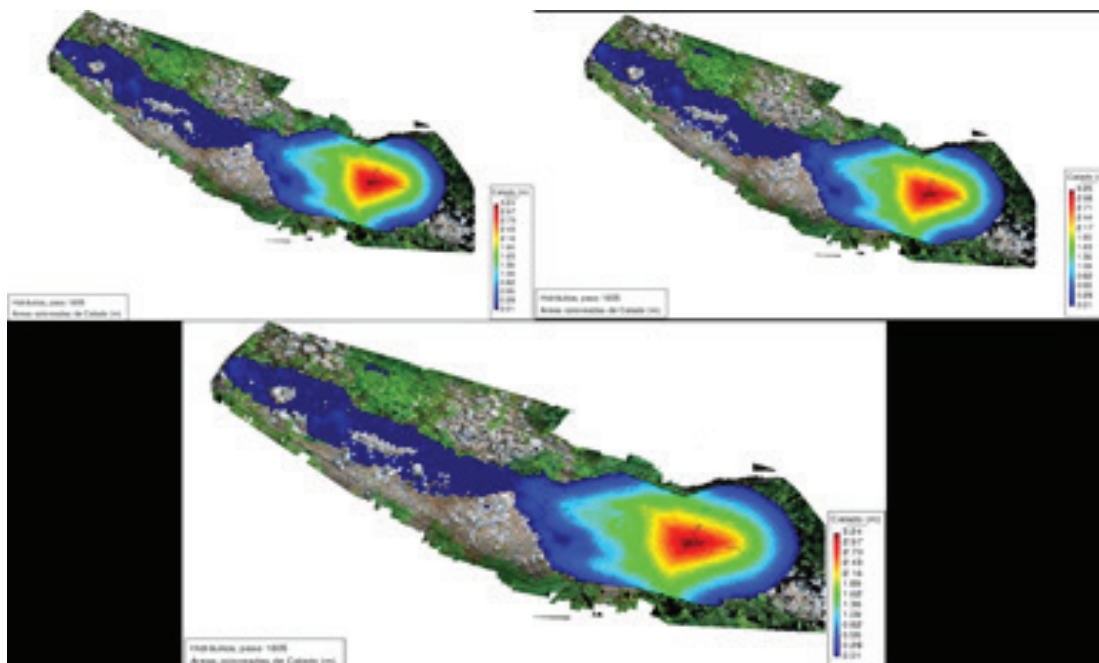


Figura 7. Calado Barrera #1 según modelo.

En los tres casos de estudio rondan los 3,24 y 3,25 metros, por lo que es evidente, que el agua se retiene hasta la altura máxima de la barrera. El cambio que es detectable corresponde a que las áreas donde el calado ronda desde un metro hasta dos metros aumentan en tamaño, esto es resultado del incremento del caudal (ver figura 7).

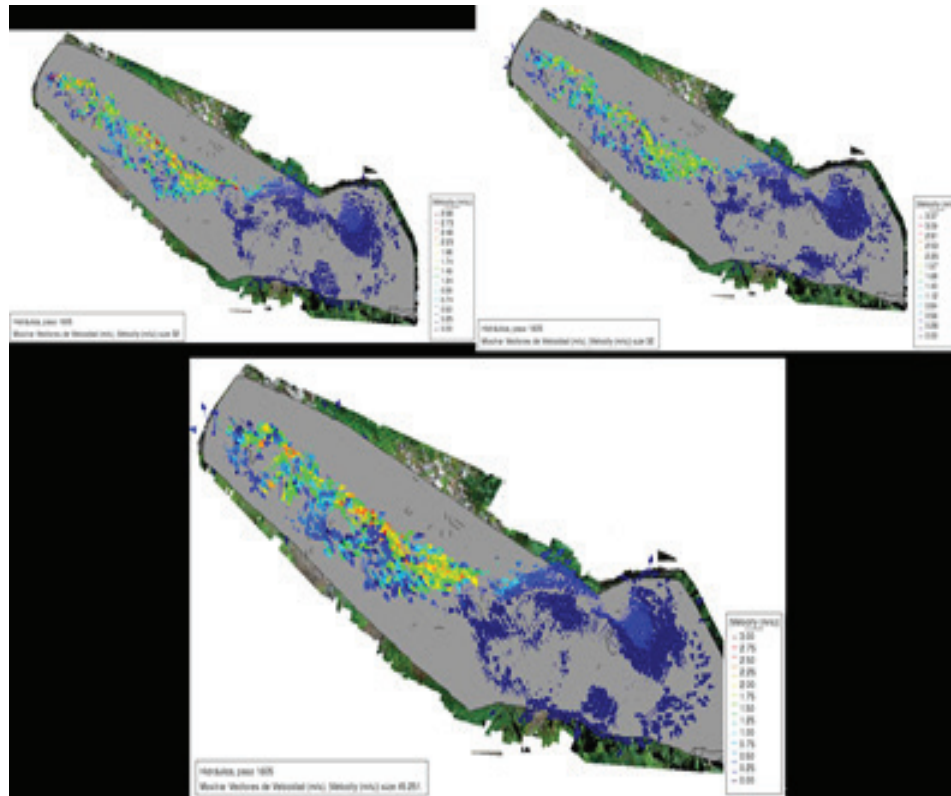


Figura 8 Vectores de velocidad y dirección Barrera #1 según modelo.

El flujo transcurriría de manera directa y aumentando constantemente su velocidad hasta llegar al punto de concentración de agua debido a la obstrucción creada por la barrera. Es posible afirmar que el flujo a la hora de encontrarse con la barrera tiene un comportamiento más reducido en impacto, esto debido a los vórtices creados, acumulación de agua y que los vectores de dirección no son constantes solo río abajo (figura 8). Eso quiere decir, que la energía y velocidad son reducidos notoriamente y en resultado de esa disminución, la capacidad destructiva y potencial pérdida de control sobre el flujo se reducen también.

Barrera#2: Todos los resultados tomados del modelo en Iber 2.5.1 son correspondientes al segundo 1900, ya que, es en el instante que presenta mayor caudal, por lo tanto, el momento más crítico.

Se presentan los resultados de velocidad, calado y comportamiento vectorial de la barrera #2 en los dos periodos de retorno (50 y 100 años) y el caso de incremento de intensidad de lluvia por el cambio climático.

Las imágenes corresponden al orden de $t = 50$ años superior izquierda, $t = 100$ años superior derecha, $t = 100$ años + 18 % inferior centro (figura 9).

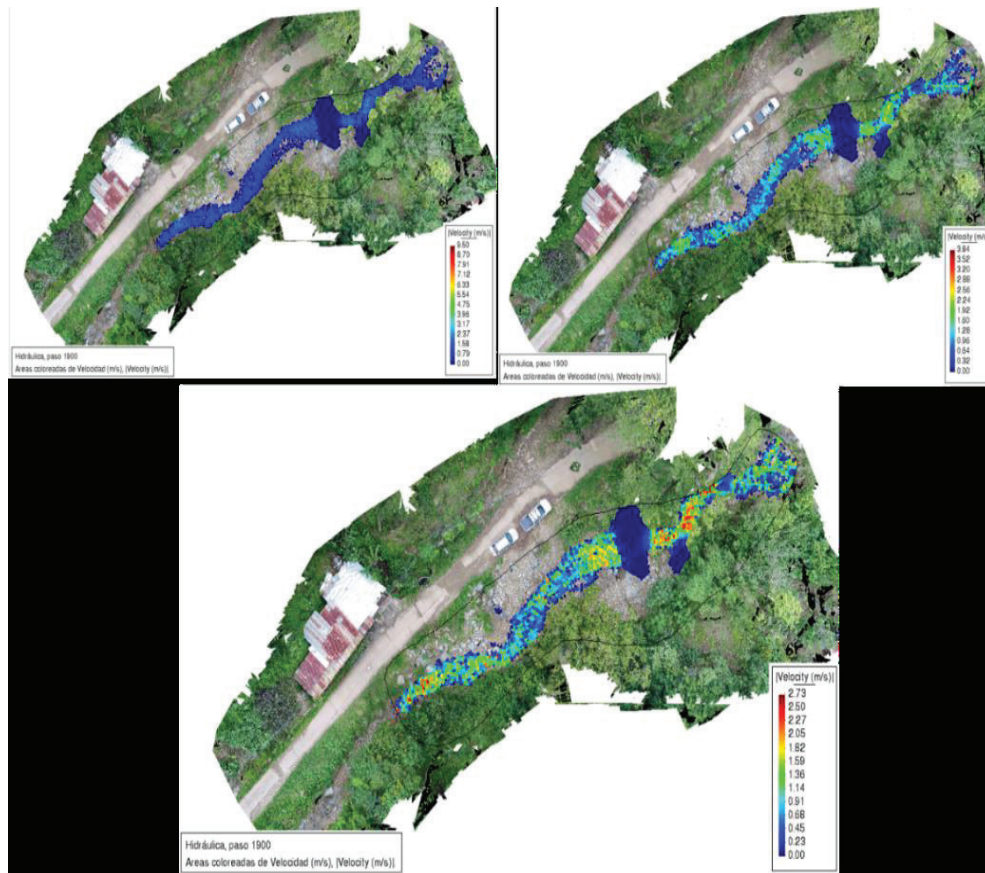


Figura 9. Velocidades Barrera #2 según modelo.

Esta barrera se encuentra llena a la hora de generar el estudio, por lo que su impacto es justo posterior a su ubicación, no genera un comportamiento de retención previo a ella, sino una especie de cascada.

La barrera crea una caída de agua, donde la velocidad en el instante posterior a la caída se reduce a valores aproximados a 0 m/s. Las velocidades máximas en el instante de estudio corresponden a $t=50$: 2,37 m/s $t=100$: 3,84 m/s $t=100 + 18\%$: 2,73m/s.

Con las condiciones de la barrera llena de material sedimentario el valor máximo de calado siempre corresponde al mismo, ya que, es proporcional a la altura de caída del fluido, en este caso el calado máximo es de 0,95 m (ver figura 10).

Se logra el comportamiento vectorial en función de la velocidad del flujo (figura 11). Es representado por los vectores que el flujo transcurre de manera regular quebrada abajo, aumentando constantemente su velocidad hasta llegar al punto de caída de flujo debido a la barrera llena de material sólido. Es posible afirmar que el flujo a la hora de caer de la barrera tiene un comportamiento multidireccional y, sobre todo, se generan vórtices en los costados de la descarga de flujo. Eso quiere decir que la energía y velocidad son reducidos notoriamente y en resultado de esa disminución, la capacidad destructiva y potencial pérdida de control sobre el flujo.

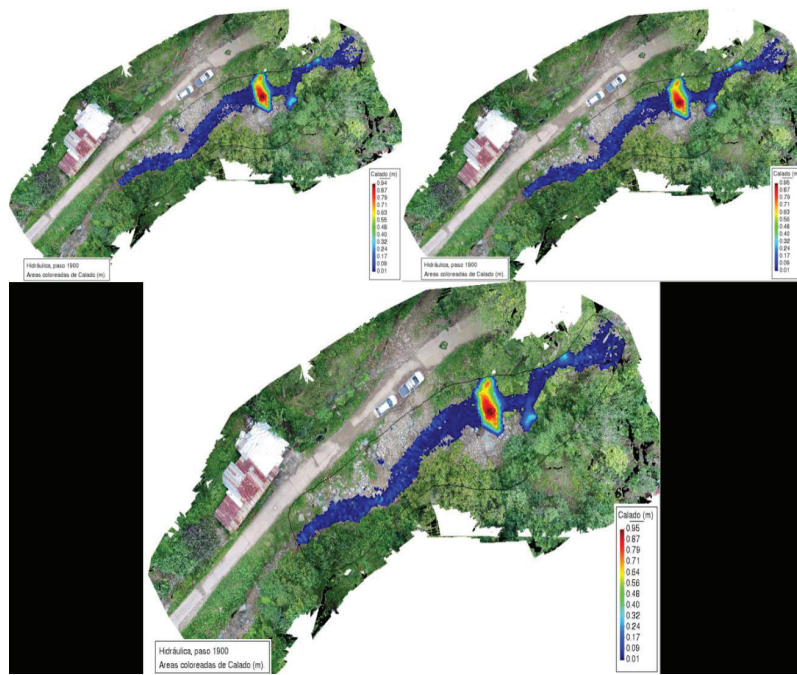


Figura 10. Calado Barrera #2 según modelo.

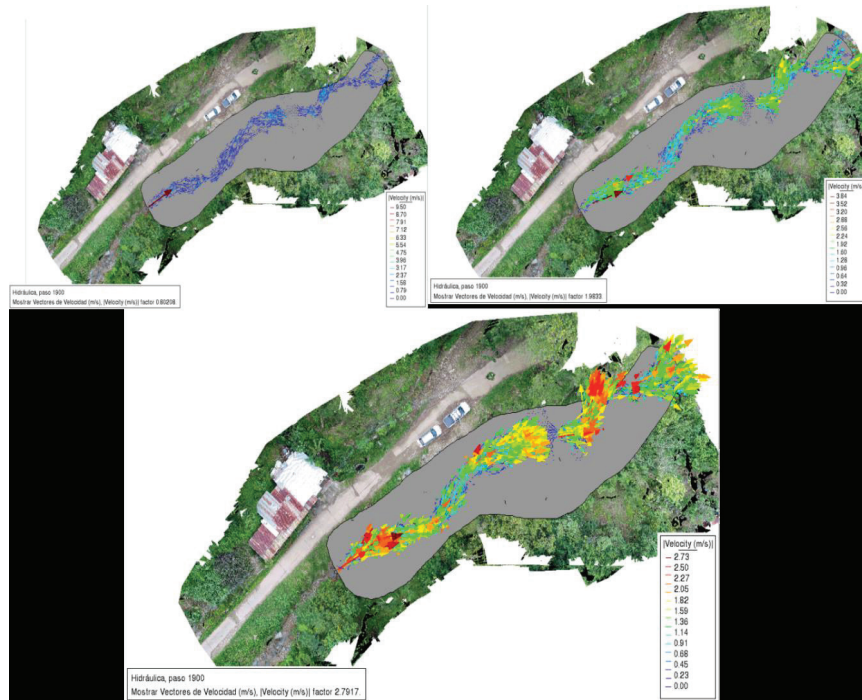


Figura 11. Vectores de velocidad y dirección Barrera #2 según modelo.

Análisis de Sedimentos

El análisis de sedimentos se realiza únicamente en las barreras para el periodo de retorno de 100 años + 18 % de incremento de lluvias. Esto debido a que se define que dicho periodo de retorno es el más crítico, el que contiene más caudal y por ende mayor transporte de sedimentos, es decir, es cuando la barrera tiene mayor exigencia, por lo que, si cumple para el caso mencionado, evidentemente cumple para los más leves.

Barrera #1

La barrera se analiza en el momento de caudal pico, el cual corresponde a 31, 48 m³/s en el segundo 1605,28. Se logra una concentración máxima de sedimentos suspendidos de 2 g/l, lo que representa 2 kilos por metro cúbico de fluido (ver figura 12).

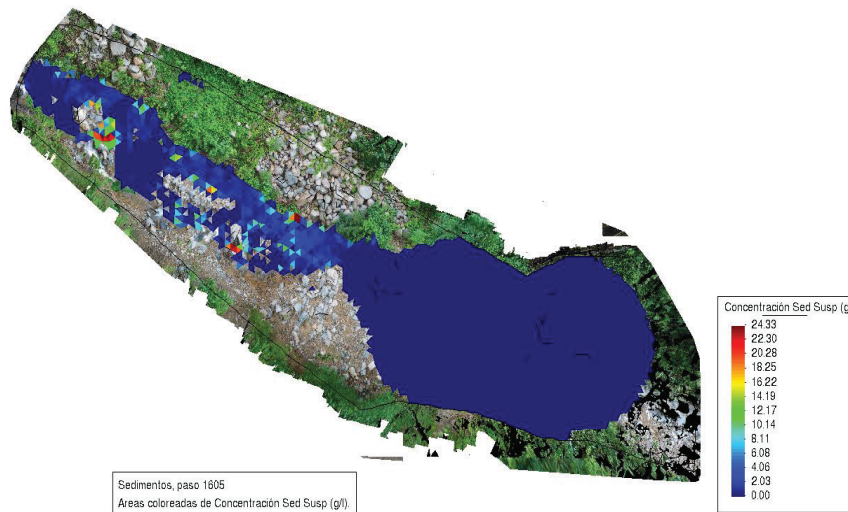


Figura 12. Concentración de sedimentos Barrera #1.

Ahora ya se tiene, como resultado un total de 134,93 m³ de sólidos retenidos.

Barrera #2

La barrera se analiza en el momento de caudal pico, que corresponde a 38, 01 m³/s en el segundo 1901,36. Se obtiene una concentración máxima de sedimentos suspendidos de 31 g/l, lo que representa 31 kilos por metro cúbico de fluido (ver figura 13).



Figura 13. Concentración de sedimentos Barrera #2.

Ya una vez, que se tiene como resultado un total de 2991 m³ de sólidos retenidos.

Discusión de resultados

Como fue evidente observar en todas las simulaciones, incluyendo velocidad, vectores y cota de altura de agua, las barreras ubicadas en la zona de estudio cumplen su función, reteniendo una cantidad de sólidos considerable, disminuyendo su velocidad a prácticamente 0m/s, lo que podemos traducir a una capacidad destructiva muy reducida a la que podría tener en un inicio. También es muy específico que en las zonas de las barreras aumenta el volumen de agua acumulada, por lo que el área de cobertura del agua es mayor a la que se tenía previo al obstáculo (barrera), junto a esto es evidente que las zonas en donde se colocan las barreras es una zona de alta cantidad de vectores en muchas direcciones y vórtices, que podemos traducirlo a zonas de alta erosión. Es necesario prestar alta atención a este dato y reforzar esas zonas contra la erosión, y tomarlo en cuenta en el diseño.

Fue posible realizar una comparación casi que directa con otras investigaciones, específicamente con las tituladas Quantitative Prediction of Outburst Flood Hazard of the

Zhouqu “8.8” Debris Flow-Barrier Dam in Western China [11], Evaluation of flexible barrier and sabo dam to control effects of debris flow in Santo Domingo Ravine [12] y Protection systems against debris flows [13]. Estas investigaciones fueron basadas en barreras dinámicas arrojando resultados similares, en las tres, se determina la disminución en la velocidad del flujo, así mismo la depositación de sólidos en la barrera. Pero existe una variable a considerar, el relieve, pendiente y forma del cauce de la quebrada o río, se determina que si bien es cierto las barreras cumplen su función inicial, la pendiente y relieve tienen un factor sumamente importante, ya que en una relación directa, éstas variables afectan en que tan recomendable es el uso de estas barreras.

El por qué estas variables son tan necesarias a tomar en cuenta, es debido a la zona o área que se inunda previo o posterior a la barrera, causando en algunos casos, más daño del que podría evitar. Por lo que en conclusión no solo es importante tener en cuenta el cambio climático por su incremento en intensidad de lluvias, periodos de retorno, caudales pico, etc, sino también un buen levantamiento topográfico y una buena resolución en la malla de valores ingresada en los modelos, es fundamental a la hora de utilizar este tipo de barreras.

Conclusiones y/o recomendaciones

Se modeló la quebrada hidrodinámicamente obteniendo datos de sus velocidades, calado y comportamiento vectorial en los tres escenarios de estudio. El uso del modelo en dos dimensiones Iber 2.5.1 es vital para obtener la representación más semejante a lo que se observa en sitio. En todos los resultados es posible observar el desempeño de las barreras dinámicas cumpliendo su objetivo principal, el cual es el control del flujo de detritos y la reducción del potencial riesgo que puede generar un evento natural.

La evaluación del desempeño en las barreras en la Quebrada Burío se realiza satisfactoriamente, obteniendo datos como la cantidad de metros cúbicos de material sólido que debe retener cada una para el evento más crítico estudiado. El análisis de la barrera #1 permite concluir que la cantidad de metros cúbicos de material sólido a retener en ese punto específico no es tan significativa como podría ser en otro sitio; eso no le resta importancia a su funcionamiento, solo que puede ser más aprovechada en otro sector de la quebrada. Para la barrera #2 solo es posible evaluarla llena, pero ésta si se encuentra en una zona donde la concentración de sólidos es mayor y por ende su beneficio y desempeño está siendo mejor.

En ambos casos fue posible observar como las velocidades del flujo rondan los 3m/s previo a la barrera dinámica. Una vez se encuentran con estos elementos, ya sea vacía o llena, generando un efecto de choque directo o caída tipo cascada, logra retener una cantidad de flujo representativa y llevando sus velocidades a prácticamente 0m/s.

Referencias

- [1] Cuerpo de Ingeniero de los Estados Unidos de América., «Evaluación de Recursos de Agua de Costa Rica.,» *United States Southern Command*, 1996.
- [2] Geobruigg, «Contra los riesgos naturales: Los sistemas Geobruigg garantizan el más alto grado de protección.,» *Geobruigg*.
- [3] E. Baldé, L. Cea, G. Corestein, E. Escolano, J. Puertas, E. Vázquez-Cendón y A. Coll, «ScienceDirect,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213131512000454>. [Último acceso: marzo 2020].
- [4] Acción por el clima, «Web Oficial Union Europea,» 2015. [En línea]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_es#tab-0-0. [Último acceso: febrero 2020].
- [5] C. C, «Mexico y el cambio climático global,» *UNAM*, 2006.
- [6] B. D, «Uso de barreras contra caídos en Costa Rica.,» *Universidad De Costa Rica*, 2015.
- [7] A. Quiñones, «Escorrentía,» *Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño*, 2017.
- [8] Geobruigg, «Barreras dinámicas contra flujos de detritos.,» *Geobruigg*, 2011.
- [9] T. Salamea Guillén, «MODELAMIENTO BIDIMENSIONAL HIDRODINÁMICO DEL FLUJO Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS A TRAVÉS DEL RÍO CALABÍ Y OBRAS HIDRÁULICAS.,» *Universidad de Cuenca*, 2015.
- [10] M. Villón, «Precipitación,» p. 25, 2011.
- [11] G. C. Y. C. J. J. W. S. Heyi Yang, «Quantitative Prediction of Outburst Flood Hazard of the Zhouqu “8.8” Debris Flow-Barrier Dam in Western China,» *MDPI*, p. 20, 2021.
- [12] A. C, 2015. [En línea]. Available: <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/fesamcentral/12281.pdf>. [Último acceso: febrero 2020].
- [13] C. J, «DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE BARRERAS,» *UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA*, 2017.
- [14] D. Á. E, «Hidrodinámica,» *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, 2014.
- [15] Geobruigg, «Barreras flexibles de anillos para retención de flujos de detritos: la solución económica.,» *Geobruigg*.
- [16] IPCC, «Cambio climático 2007 informe de síntesis.,» *IPCC*, 2007.
- [17] IPCC, «Cambio climático 2014 informe de síntesis,» *IPCC*, 2014.
- [18] MINAE, Dirección de Cambio Climático, & EPYPSA., «PLAN DE ACCIÓN DE LA Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC).,» *MINAE*, 2015.
- [19] J. & R. C. Moyano, «Génesis y características de un nuevo flujo de detritos en Lo Valdés, Cajón del Maipo, Chile.,» *The University of Manchester*, 2011.
- [20] J. Ordoñez, «Qué es una cuenca hidrológica.,» *Sociedad Geográfica de Lima*, 2011.
- [21] C. Smith, «La intensificación de las precipitaciones provocará un aumento de la contaminación del agua en el futuro.,» *National Geographic & NASA Earth Observatory.*, 2017.
- [22] R. B. · L. S. · A. S. · R. S. · G. Capparelli, «Debris flow impact on a flexible barrier: laboratory flume,» *Springer Nature*, p. 22, 2021.
- [23] G. e. f. l.-d. i. a. t. a. to, «Dongri Song, Gordon G.D. Zhou, Xiao Qing Chen, Jie Li, Anli Wang, Peng Peng,» *Engineering Geology*, p. 11, 2021.
- [24] N. B. · J. S. · M. M. · T. J. · J. J. ·, «Investigation of potential debris flows above the Koroška Bela settlement, NW,» *Landslides*, p. 16, 2021.
- [25] D. S. · Y. B. · X. Q. C. · G. G. D. Z. · C. E. C. · A. P. · P. Peng, «Assessment of debris flow multiplesurge load model based on the physical process,» *Landslides*, p. 13, 2021.
- [26] C. R. Q. L. L. M. R. Luis Fonseca1, «Protection systems against debris flows,» *WIT Press*, vol. 94, p. 10, 2007.
- [27] L. F. C. N. J. W. Cabrera Cabrera, «Evaluation of flexible barrier and sabo dam to control effects of,» *DigitalCommons@USU*, p. 12, 2016.
- [28] A. L. Wong, «Development of a novel design approach for rigid landslide debris-resisting barriers,» *HKIE Transactions*, vol. 28, nº 4, p. 14, 2021.