



ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA EN LAS CONDICIONES DE FLUJO DE CANALES REVESTIDOS DE UN DISTRITO DE RIEGO POR LA PRESENCIA DE SEDIMENTOS Y CRECIMIENTO DE VEGETACIÓN

Agustín Armando Macgregor Torrado, Romel Jesús Gallardo Amaya, Pedro Nel Angarita Uscátegui

**Universidad Francisco de Paula Santander
Ocaña, Colombia**

Resumen

La investigación se realizó con el fin de establecer cuál es la incidencia, en el régimen de flujo, que se presenta en un canal para abastecimiento de agua para riego, por la presencia de vegetación y depósitos de sedimentos, esto acorde a la sección transversal del canal y las condiciones topográficas del mismo en sectores críticos. El proyecto fue realizado en 6 fases: 1. Visitas e identificación del área de estudio, 2. Caracterización física del área de estudio, 3. Toma de muestras (sedimentos) y levantamiento topográfico, aforos y modelo en Hec-Ras en condiciones iniciales, 4. Mantenimiento del área de estudio, 5. Análisis en condiciones finales, 6. Análisis de resultados.

Entre los resultados más representativos obtenidos en el desarrollo de la investigación se tiene que la velocidad media en condiciones iniciales tiene un valor de 0.285 m/s posteriormente se realizó el mantenimiento en los sectores críticos, consistente en la limpieza de los sedimentos de las paredes y el fondo del canal así como del material vegetal; los resultados obtenidos indican que hubo un aumento de la velocidad media en un 23%, ya que los valores de dicha velocidad posterior al mantenimiento fue de 0.3506 m/s.

Como una de las conclusiones más relevantes se puede mencionar que el perfil de velocidades, en las secciones analizadas del canal, se ve afectado notablemente hasta en un 23% por la presencia de sedimentos y vegetación, así como efectos negativos en: Pérdida de capacidad hidráulica, así como de la alteración del coeficiente de rugosidad, lo cual conlleva al aumento del esfuerzo

cortante, disminución de la velocidad de fluido y cambios en el régimen de flujo, viéndose afectadas las condiciones con las que fue diseñado el canal originalmente. Con esta información, y los resultados obtenidos, se podrá priorizar un cronograma de mantenimiento preventivo y correctivo de los sectores más afectados, con lo que se espera una optimización del funcionamiento del canal.

Palabras clave: canal de riego; variación velocidad de flujo; sedimentos

Abstract

The investigation was carried out to establish what is the incidence, in the flow regime, that occurs in a canal for supplying water for irrigation, due to the presence of vegetation and sediment deposits, according to the cross-section of the canal and its topographic conditions in critical sectors. The project was carried out in 6 phases: 1. Visits and identification of the study area, 2. Physical characterization of the study area, 3. Sampling (sediments) and topographic survey, gauges, and Hec-Ras model in initial conditions, 4. Maintenance of the study area, 5. Analysis in final conditions, 6. Analysis of results.

Among the most representative results obtained in the development of the research is that the average speed in initial conditions has a value of 0.285 m / s, subsequently, maintenance was carried out in the critical sectors, consisting of cleaning the sediments from the walls and the bottom of the canal as well as the plant material; The results obtained indicate that there was an increase in the average speed by 23% since the values of said speed after maintenance was 0.3506 m / s.

As one of the most relevant conclusions, it can be mentioned that the velocity profile, in the analyzed sections of the canal, is notably affected by up to 23% by the presence of sediments and vegetation, as well as negative effects on Loss of hydraulic capacity, as well as the alteration of the roughness coefficient which leads to an increase in shear stress, a decrease in fluid velocity and changes in the flow regime, affecting the conditions under which the channel was originally designed. With this information, and the results obtained, a preventive and corrective maintenance schedule of the most affected sectors can be prioritized, with which optimization of the channel's operation is expected.

Keywords: irrigation canal; variation flow velocity; sediments

1. Introducción

Los canales según su origen se pueden clasificar en naturales (estructuras no revestidas, en condición de terreno natural) y artificiales los cuales corresponde a estructuras construidas por el hombre, donde la superficie es revestida habitualmente por concreto o por otros materiales en función de su uso (Castellanos, *et al.* 2017); encargados de transportar flujos, que se clasifican en permanentes y no permanentes a partir del cambio de la profundidad con respecto al tiempo y al espacio. El flujo en canales abiertos se realiza generalmente a gravedad, por lo que dicha fuerza,



asociada a la viscosidad en relación a las fuerzas inerciales, son las encargadas del comportamiento del fluido en estas estructuras.

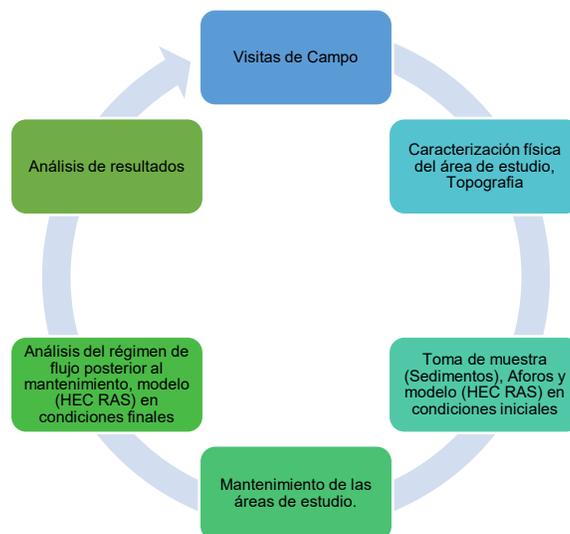
El cambio climático ha traído consigo cambio en los regímenes de lluvia en todo el planeta, con lo que una de las alternativas para abastecer las poblaciones que sufren la escases del preciado líquido son, los distritos de riego (Sáenz, *et al.* 2002) (Acevedo, *et al.* 20016); estos se definen como proyectos de suministro de agua y control de drenajes compuestos por una cadena de canales artificiales y compuertas, donde la sección de dichos canales con frecuencia son de forma rectangular, triangular y trapezoidal. La falta de mantenimiento de estos proyectos, en lo que refiere a presencia de vegetación y sedimentos, ha generado deficiencia en su funcionamiento, ya que se ha visto alterada la capacidad hidráulica y caudal transportado en relación a los del diseño original. Es una problemática de manera global que por ende ha conllevado que muchos profesionales del área de recurso hídrico desarrollen trabajos en relación a la influencia que genera la presencia de vegetación y sedimentos en los regímenes de flujo (Poepl, *et al.* 2016), perfiles de velocidad y esfuerzo cortante (Colombo, *et al.* 2010), (Nepf, 2012), (Tal, *et al.* 2010), (Castro, *et al.* 2015).

Esta investigación se realizó en un sector del Distrito de Riego del Municipio de Abrego en el departamento de Norte de Santander, tuvo como objetivo determinar la incidencia de la presencia de vegetación y sedimentación y la posible alteración del régimen de flujo (Li *et al.*, 2019), dependiendo de la sección del canal, así como de las condiciones topográficas en sectores críticos.

2. Metodología

En la figura 1 se puede apreciar las 6 fases por medio de las cuales se desarrolló la investigación.

Figura 1. Procesos para el desarrollo de la investigación



Fase 1: *Visitas de campo:* En esta fase se desarrollaron visitas de campo al distrito de riego del municipio de Abrego Norte de Santander, con el fin de localizar las zonas de estudio, las cuales corresponden a las diferentes zonas susceptibles a problemas de sedimentación. **Fase 2:** *Caracterización física de las áreas de estudio:* En esta fase se realizaron registros fotográficos, levantamientos topográficos, con el objetivo de conocer las propiedades físicas de las áreas de estudio, además de conocer las condiciones en las que se encuentran dichos tramos. **Fase 3:** *Trabajo de Campo:* En esta fase se tomaron muestras de los sedimentos depositados con el fin de evaluar las características físicas de dichos materiales, posteriormente se realizaron estimaciones de caudales mediante la realización de aforos con el apoyo de un micro molinete, finalmente en esta fase se realizó el modelo en HEC RAS bajo condiciones iniciales. Ver figura 2.

Figura 2. Levantamiento topográfico, toma de muestra de sedimentos, aforo en condiciones iniciales



Fase 4: *Mantenimiento de las áreas de estudio:* En esta fase se realizaron actividades de mantenimiento de los sectores del canal en estudio, consistentes en el retiro de la vegetación y los sedimentos. **Fase 5:** *Análisis del régimen de flujo en condiciones posteriores al mantenimiento:* En esta fase se efectuaron estimaciones de caudales a partir de realizar aforos por medio del método de área y velocidad medida con micro molinete. Finalmente, en esta fase se realizó el modelo en HEC RAS bajo condiciones finales (Parhi et al, 2012), ver figura 6. **Fase 6:** *Análisis de resultados:* En esta fase se llevó a cabo el desarrollo de un análisis de resultados obtenidos de los modelos bajo condiciones iniciales y finales.

Figura 3. Mantenimiento y aforo en condiciones finales



3. Resultados y discusión

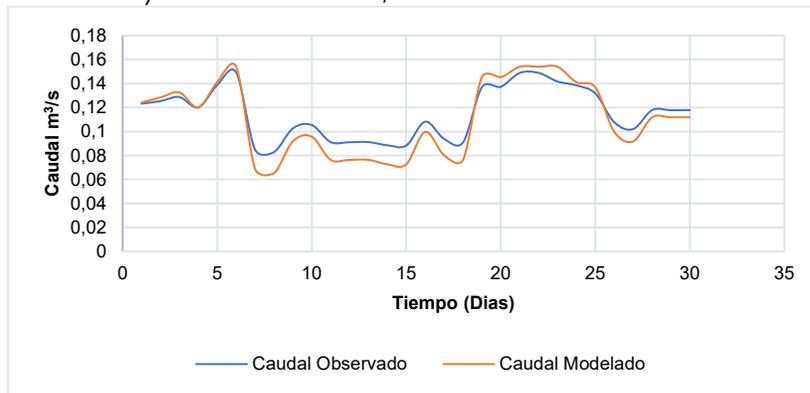
3.1 Calibración del modelo en condiciones iniciales

Con la información recolectada de los trabajos de campo como topografía (sección transversal base 1.06 m, altura 1.00 m, pendiente longitudinal del 0.042%); y caudales (Aforo por el método de área velocidad); se procedió a realizar la estimación del coeficiente de rugosidad de Maning a través del uso de la ecuación general de Maning. Con los valores de caudales observados en campo y modelados ecuación de Manning, se realizó el proceso de calibración y validación y su respectiva valoración a través de la medida de bondad y ajuste de los coeficientes de Nash-Sutcliffe (E) (Amorim *et al*, 2010) y PBIAS (Ocampos *et al* 2014), (Ec. 1).

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - y_i^{sim})^2 (100)}{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs})} \right] \quad E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim,i} - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad Ec. 1$$

Con los respectivos datos de campo y los modelados a través de la ecuación Manning, se realizó la variación del valor del coeficiente de rugosidad ($n = 0.027$), hasta lograr unos valores aceptables de los coeficientes de bondad, Nash-Sutcliffe con un valor de 0.74 y PBIAS 5.47, los cuales indican que la calibración es muy buena, según los rangos de evaluación de ambos coeficientes, ver figura 4.

Figura 4. Caudales observados y Caudales modelados, condiciones iniciales.



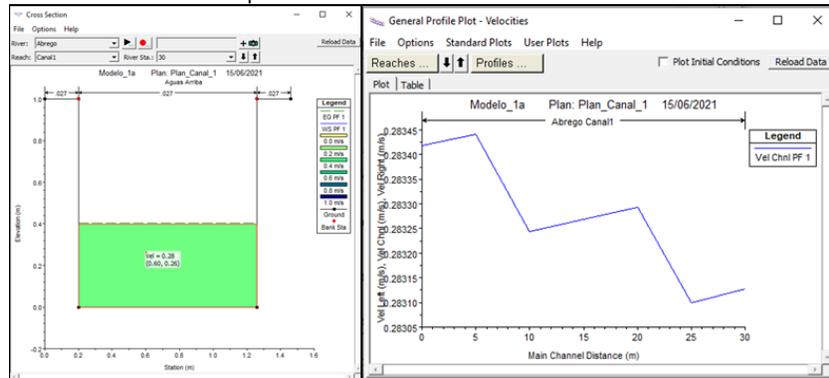
3.2 Modelo en condiciones iniciales

Con todas las variables previstas para el modelo como lo son: sección transversal (canal rectangular de 1.06 m x 1.00 m), pendiente longitudinal 0.042%, caudal de trabajo 0.12 m³/s y coeficiente de rugosidad de Maning $n = 0.027$, el cual fue ajustado a partir del proceso de calibración del modelo, se procedió a realizar la modelación en el software de uso libre HEC RAS, dicho modelo fue evaluado considerando condiciones de flujo mixto bajo condiciones de flujo permanente.



En la figura 5 se puede observar el comportamiento de la velocidad media a lo largo del tramo de canal evaluado, en donde se resalta que el valor promedio es de 0.283 m/s.

Figura 5. Reporte de velocidad media bajo condiciones iniciales en Pr 0+30 m



En la figura 6, se pueden ver los resultados más relevantes del análisis bajo las condiciones evaluadas, con el número de froude es de 0.1429, que al ser menor a 1, indica que el régimen de flujo en el canal es subcrítico, así mismo el valor del cortante corresponde a 0.9378 N/m².

Figura 6. Numero de froude, Cortante, Velocidad media – Condiciones iniciales, software Hec-Ras.

Profile Output Table - Standard Table 1													
HEC-RAS Plan: Plan1 River: Abrego Reach: Canal1 Profile: PF 1													
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Shear Total (N/m2)
Canal1	30	PF 1	0.1202	-0.0009	0.3997	0.1084	0.4037	0.000419	0.2831	0.4246	1.0601	0.1429	0.9378
Canal1	25	PF 1	0.1202	-0.0030	0.3976		0.4016	0.000419	0.2831	0.4247	1.0601	0.1428	0.9376
Canal1	20	PF 1	0.1202	-0.0049	0.3955		0.3995	0.000420	0.2833	0.4244	1.0601	0.1430	0.9391
Canal1	15	PF 1	0.1202	-0.0070	0.3934		0.3974	0.000420	0.2833	0.4244	1.0601	0.1430	0.9389
Canal1	10	PF 1	0.1202	-0.0091	0.3913		0.3953	0.000420	0.2832	0.4245	1.0601	0.1429	0.9387
Canal1	5	PF 1	0.1202	-0.0110	0.3892		0.3932	0.000420	0.2834	0.4242	1.0601	0.1431	0.9401
Canal1	0	PF 1	0.1202	-0.0131	0.3870	0.0962	0.3911	0.000420	0.2834	0.4242	1.0601	0.1431	0.9400

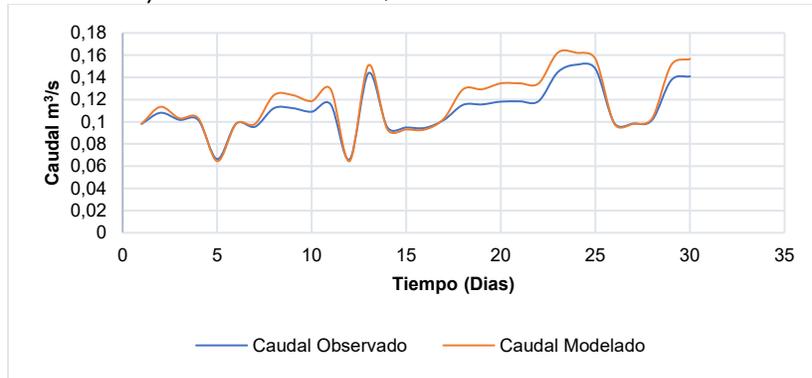
3.3 Calibración del modelo en condiciones finales

Las variables de geometría y topografía (sección transversal base 1.06 m, altura 1.00m, pendiente longitudinal del 0.042%) se mantienen constantes; posterior al proceso de mantenimiento del canal se programó una serie de aforos.

Con los respectivos datos de campo y modelados a través de la ecuación Manning, se realizó la variación del valor del coeficiente de rugosidad ($n = 0.020$), hasta lograr unos valores aceptables de los coeficientes de bondad (Ocampos *et al* 2014), Nash-Sutcliffe con un valor de 0.71 y PBIAS -7.59, los cuales indican que la calibración es muy buena según los rangos de evaluación de ambos coeficientes, ver figura 7.



Figura 7. Caudales observados y Caudales modelados, condiciones finales.

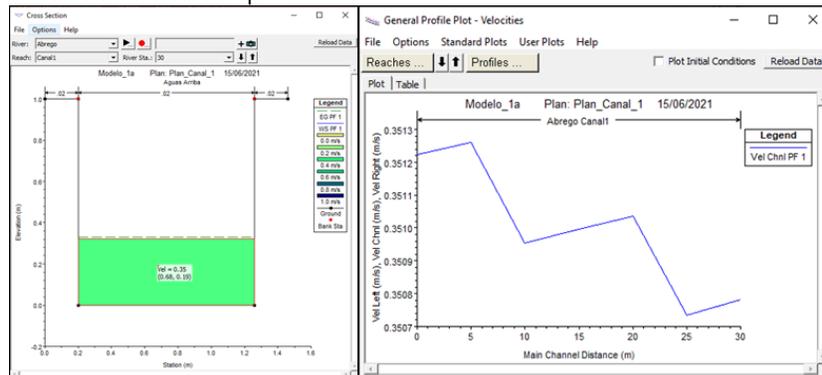


3.4 Modelo en condiciones finales

Las variables previstas para dicho modelo como los son, sección transversal pendiente longitudinal y caudal de trabajo son similares a las usadas en el modelo de condiciones iniciales; lo que corresponde al coeficiente de rugosidad de Manning para estas condiciones es de $n: 0.020$, lo cual fue ajustado a partir del proceso de calibración del modelo del ítem anterior, con todos los valores definidos se procedió a realizar la modelación bajo las mismas condiciones del modelo evaluado previamente.

En la figura 8 se puede observar el comportamiento de la velocidad media a lo largo del tramo de canal evaluado, en donde se resalta que su valor promedio es de 0.283 m/s

Figura 8. Reporte de velocidad media bajo condiciones finales en Pr 0+30 m



En la figura 9 se muestran los resultados más relevantes del análisis bajo las condiciones evaluadas, con un número de froude de 0.1970 que al ser menor a 1 , indica que el régimen de flujo en el canal es subcrítico, y un valor del cortante que corresponde a 0.8242 N/m^2 .



Figura 9. Reporte de Numero de froude, Cortante, Velocidad media – Condiciones finales.

Profile Output Table - Standard Table 1													
HEC-RAS Plan: Plan1 River: Abrego Reach: Canal1 Profile: PF 1													
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl	Shear Total
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)		(N/m ²)
Canal1	30	PF 1	0.1202	-0.0009	0.3224	0.1084	0.3287	0.000419	0.3508	0.3427	1.0601	0.1970	0.8242
Canal1	25	PF 1	0.1202	-0.0030	0.3203		0.3266	0.000418	0.3507	0.3428	1.0601	0.1970	0.8240
Canal1	20	PF 1	0.1202	-0.0049	0.3182		0.3245	0.000419	0.3510	0.3425	1.0601	0.1972	0.8255
Canal1	15	PF 1	0.1202	-0.0070	0.3161		0.3224	0.000419	0.3510	0.3425	1.0601	0.1972	0.8253
Canal1	10	PF 1	0.1202	-0.0091	0.3140		0.3203	0.000419	0.3510	0.3426	1.0601	0.1971	0.8251
Canal1	5	PF 1	0.1202	-0.0110	0.3119		0.3182	0.000420	0.3513	0.3423	1.0601	0.1974	0.8267
Canal1	0	PF 1	0.1202	-0.0131	0.3098	0.0962	0.3161	0.000420	0.3512	0.3423	1.0601	0.1974	0.8265

4. Conclusiones

Se logró calibrar ambos modelos a partir de los trabajos de campo (aforos) y uso de la ecuación de Maning obteniendo como resultados $n = 0.027$, condición inicial, y $n = 0.020$, condición final, con valoración de muy bueno para medida de bondad y ajuste de los coeficientes de Nash-Sutcliffe (E) y PBIAS. Analizado los resultados de ambos modelos, se aprecia que la velocidad media del flujo se aumenta en un 23%, para la condición a la realización del mantenimiento, retiro de sedimentos y vegetación presente, de igual forma existe un aumento el número de froude pero que sigue arrojando valores para un régimen de flujo subcrítico; mientras que el esfuerzo cortante bajo condiciones finales sufre una disminución 12.11% en relación a las condiciones antes del mantenimiento. De acuerdo a los resultados se establece que el sistema de riego debe implementar un programa de mantenimiento de los sectores críticos, donde sus canales tienen condiciones que favorecen la sedimentación y crecimiento de vegetación, de modo que se puedan tener condiciones óptimas de funcionamiento además de reducir las posibles afectaciones de salud derivadas por la falta de mantenimiento, mejorando así las condiciones de los usuarios finales del sistema.

5. Referencias

- Acevedo, J., & García-Rozo, A. (2016). Distritos de riego: impulsores de la productividad agrícola colombiana. *Revista de Ingeniería*, No. 44, pp. 55-57.
- Amorim, R. S., Silva, D. D. D., Pruski, F. F., & Matos, A. T. D. (2010). Avaliação do desempenho dos modelos de previsão da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. *Engenharia Agrícola*, Vol. 30, No 6, pp. 1046-1049.
- Castellanos, H. E., Collazos, C. A., Farfan, J. C., & Meléndez-Pertuz, F. (2017). Diseño y construcción de un canal hidráulico de pendiente variable. *Información tecnológica*, Vol. 28, No. 6, pp. 103-114.
- Castro, G. E. A., Barbosa, T. E. G., & Ortiz, E. A. S. (2015). Comportamiento de las ecuaciones de Saint-Venant en 1D y aproximaciones para diferentes condiciones en régimen permanente y variable. *Tecnura*, Vol. 19, No. 45, pp. 75-88.
- Colombo, F., & Aluviales, A. (2010). Secuencias y modelos de sedimentación. *Sedimentología del proceso físico a la cuenca sedimentaria*. A. Arche; editor, pp. 131-183.
- Nepf, H.M. (2012). Hydrodynamics of vegetated channels. *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 50, Issue 3, pp. 262 – 279.



- Li, W. Q., Wang, D., Jiao, J. L., & Yang, K. J. (2019). Effects of vegetation patch density on flow velocity characteristics in an open channel. *Journal of Hydrodynamics*, Vol. 31, No. 5, pp. 1052-1059.
- Ocampo, O. L., & Vélez, J. J. (2014). Análisis comparativo de modelos hidrológicos de simulación continua en cuencas de alta montaña: caso del Río Chinchiná. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, Vol. 13, No. 24, pp. 43-58.
- Parhi, P. K., Sankhua, R. N. y Roy, G. P. (2012). Calibración de la rugosidad del canal para el río Mahanadi, (India) utilizando el modelo HEC-RAS. *Revista de recursos hídricos y protección*, Vol. 4, No. 10, pp. 847-850.
- Poepl, R. E., Keiler, M., Von Elverfeldt, K., Zweimueller, I., Glade, T. (2012). The influence of riparian vegetation cover on diffuse lateral sediment connectivity and biogeomorphic processes in a medium-sized agricultural catchment, Austria. *Geografiska Annaler, Series A: Physical Geography*, Vol. 94, Issue 4, pp. 511 – 529
- Saézn, E. M., Vélez, E. P., García, A. E., & Hernández, A. L. S. (2002). Problemas operativos en el manejo del agua en distritos de riego. *Terra latinoamericana*, Vol. 20, No. 2, pp. 217-225.
- Tal, M. y Paola, C. (2010). Efectos de la vegetación en la morfodinámica del canal: resultados y conocimientos de experimentos de laboratorio. *Procesos y accidentes geográficos de la superficie terrestre*, Vol. 35, No. 9, pp.1014-1028.

Sobre los autores

- **Agustín Armando Macgregor Torrado:** Ingeniero civil, Especialista en Geotecnia, Candidato a Magister en Ingeniería Civil – Recursos Hídricos. Profesor Asistente del departamento de Ingeniería Civil de la UFPS Ocaña. aamacgregort@ufpso.edu.co
- **Romel Jesús Gallardo Amaya:** Ingeniero civil, Magister en Geotecnia. Profesor Asociado del departamento de Ingeniería Civil de la UFPS Ocaña. rjgallardo@ufpso.edu.co
- **Pedro Nel Angarita Uscátegui:** Ingeniero Civil, Magister en Diseño, Gestión y Dirección de Proyectos de Arquitectura y Urbanismo. Profesor Asistente del departamento de Ingeniería Civil de la UFPS Ocaña. pnangaritau@ufpso.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2021 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

