



ACTUALIZACIÓN DE LA HOJA DE CÁLCULO DE LA EAAB, SDA Y UNIANDES, PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE DE TIPO ZONA DE BIO-RETENCIÓN, APLICABLE A LA CIUDAD DE BOGOTÁ

Heidy Dayana Díaz Ortega, Leydi Yohana Silva Sánchez, Edna Patricia Gutiérrez Lozano

**Universidad Cooperativa de Colombia
Bogotá, Colombia**

Resumen

La presencia de eventos pluviales de gran magnitud junto con la impermeabilización del suelo son una de las principales causantes del colapso en los sistemas de drenaje convencional. Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), son un conjunto de tecnologías que complementan el drenaje convencional dentro de las cuales se encuentra la tipología zona de bio-retención. Este sistema implementa especies vegetales para retener y captar la escorrentía por un máximo de tiempo posible y la dirige a cuerpos hídricos. El propósito de este trabajo es facilitar el dimensionamiento de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible del tipo zona de bio-retención, a través de la actualización de la Hoja de Pre-dimensionamiento elaborada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) y la Universidad de los Andes. La nueva versión de esta herramienta posee una interfaz más amena con el usuario, útil para ingenieros, diseñadores, constructores y personal afín; a su vez, se han actualizado las dos metodologías contenidas en dicha hoja que se basan en disminuir la escorrentía para el control de inundaciones y se adiciona una nueva metodología con enfoque en la mejora de la calidad del agua. Para el desarrollo de la nueva versión de la herramienta se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica y un posterior filtrado de las metodologías para el dimensionamiento de zonas de bio-retención que más se adapten a las condiciones meteorológicas de la capital. El resultado es una mejora de la hoja de cálculo con 3 metodologías que

permiten el dimensionamiento según el enfoque de su diseño: la retención del flujo, el área de construcción disponible del sistema o la mejora de la calidad del agua. Adoptar este tipo de herramientas estándar, de fácil uso y acceso, permite la implementación masiva de sistemas alternativos de drenaje y abre camino a la continua mejora de dichos instrumentos mediante el trabajo conjunto con la academia.

Palabras clave: recursos hídricos; drenaje; SUDS

Abstract

Large-scale rainfall events together and soil impermeabilization are some of the main causes of collapse in conventional drainage systems. Bio-retention zones, a type of Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), is a system that implements plant species to retain and capture runoff for a maximum possible time and conveys it to water bodies. The purpose of this work is to facilitate the sizing of Sustainable Urban Drainage Systems of the bio-retention zone type, by updating the Pre-dimensioning Sheet prepared by the Bogota Water and Sewage Company, the Environment District Secretariat and the University of the Andes. The new version of this tool has a more user-friendly interface, useful for engineers, designers, builders, and related personnel. At the same time, the 2 methodologies present in the based Excel sheet have been updated and a new methodology focused on improving water quality has been added. In order to develop this new tool, a bibliographic search was carried out and a subsequent screening of the methodologies that are best suited to the meteorological conditions of the capital city. The result is an improved spreadsheet with 3 methodologies that allow sizing according to the design approach, flow retention, available area, or effluent quality expected. The adoption of standard tools, easy to use and access, allows the massive implementation of alternative drainage systems, and opens the way to the continuous improvement of these instruments through joint work with academia.

Keywords: water resources, drainage; SUDS

1. Introducción

Los eventos pluviales de gran magnitud en la ciudad de Bogotá, influenciados por diferentes actividades antrópicas, entre ellas la rápida expansión de áreas impermeables y la disposición inadecuada de residuos sólidos, son causantes de colapsos en el sistema de alcantarillado, aumentan la escorrentía y velocidad del caudal e impidiendo que la descarga de agua pluvial se realice de manera adecuada y oportuna; resultando en inundaciones en vías principales del casco urbano (SDA, 2011). Asimismo, las inundaciones se derivan en impactos a nivel ecosistémico por el cambio en su estructura natural, social por la escasez y la pérdida de calidad del agua y a nivel económico por el daño en infraestructura y afectación a la calidad de vida (Yang, 2020).

De cara a la problemática descrita, la implementación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible surge como una alternativa para regular la calidad y cantidad de la escorrentía urbana que arrastra consigo cargas contaminantes. Estos sistemas tienen el potencial de facilitar la



recirculación del agua, si se alcanzan los estándares de calidad apropiados, de igual forma pueden proveer mayor amenidad, resiliencia y sostenibilidad del entorno natural (Londoño et al., 2017). Antecedentes importantes de la implementación de SUDS se han dado en países desarrollados como Alemania, China, Estados Unidos, Singapur y Australia (Yang, 2020), que buscan la gestión del recurso hídrico mediante la reducción del caudal pico, la disminución de la escorrentía y la remoción de carga contaminante con el uso de sistemas tipo cunetas verdes, tanques de almacenamiento, pavimentos permeables, zonas de bio-retención, alcorques inundables, cuenca seca de drenaje extendido y zanjas de infiltración según las condiciones climatológicas y geológicas que más se adapten al sistema (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental -CIIA, 2017).

Pese a lo anterior, se evidencia una falta de estandarización en el dimensionamiento de estas estructuras. Si bien existen diversas metodologías para dimensionar basadas en la precipitación, que evalúan su rendimiento hidrológico con la reducción del volumen de escorrentía y el tiempo de flujo en la zona de drenaje (Guohao et al.,2021), mejorar la retención y calidad esperada del afluente según las dimensiones del sistema como la profundidad estándar y profundidad del sustrato (R. Andrew et al.,2021), además de simular la eficiencia del sistema con diferentes características pluviométricas como el modelo RECHARGE evaluado en eventos pluviales de Singapur (Vijayaraghavan et al.,2021).

Actualmente se cuenta con una herramienta “Hoja de Cálculo Zona de Biorretención” producto realizado por la EAAB, SDA y Uniandes, conformada por dos metodologías internacionales (Denver y Riverside) para el Pre-dimensionamiento de estos sistemas en la ciudad de Bogotá que pueden implementarse en separadores de zonas viables, parqueaderos y andenes para el control de inundaciones (CIIA, 2017) mejorando el paisajismo y la amenidad del lugar, sin embargo, requiere de conocimientos técnicos y especializados para su ejecución que pueden dificultar su dimensionamiento.

El objetivo principal de la presente investigación es la actualización de la hoja de Excel para el Pre-dimensionamiento de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible tipo zona bio-retención para la capital, debido a que su manejo requiere conocer conceptos técnicos, lo que puede conducir a fallas operativas; por ende se busca la mejora de esta herramienta más amena para el público en general y la adición de una nueva metodología internacional con un enfoque fuerte a la mejora de la calidad del agua que se adapta a las condiciones de la ciudad de Bogotá.

2. Metodología

Para la elaboración de la versión actualizada de la hoja de cálculo para el Pre-dimensionamiento, se realizó una revisión detallada de la hoja pre-existente evaluándose detalles de interfaz, facilidad de manejo y sus bases bibliográficas actualizadas: Urban Drainage and Flood Control District, 2015; Flood Control and Water Conservation District, 2020; Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental, 2017; CIIA, 2017 y EAAB, 2018.



Posteriormente, se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica de otras metodologías de dimensionamiento adaptables a la ciudad de Bogotá D.C., en manuales, guías y artículos de investigación internacionales con una antigüedad máxima de 8 años; dichos documentos fueron consultados en bases de datos correspondientes a Google Académico, Scielo y ProQuest, teniendo en cuenta que en cada territorio estos sistemas alternativos son distintamente denominados, en este caso primaron los términos: mejores prácticas de manejo (Best Management Practices o BMP), desarrollo de bajo impacto (Low Impact Development o LID), Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (Sustainable Urban Drainage Systems o SuDS), diseño urbano sensible al agua (Water Sensitive Urban Design o WSUD) e infraestructura verde (Stormwater Green Infrastructure o SGI). Para este proceso de elección se tuvo en cuenta la disponibilidad de información respecto a ecuaciones usadas y su fundamentación teórica, distinción entre estaciones del año y software de dimensionamiento.

Finalmente se elaboró la nueva versión, manteniendo el mismo programa usado anteriormente (Microsoft Excel), debido a su fácil uso, accesibilidad y universalidad. La herramienta fue probada y modificada durante su realización con el fin de asegurar su buen funcionamiento y navegabilidad.

3. Resultados

Durante la revisión detallada de la hoja electrónica existente se encontraron una serie de aspectos a mejorar clasificados en dos categorías. Los primeros 4 aspectos se han clasificado en la categoría de ausencia, en este sentido, el primero concierne a la carencia de referenciación de un coeficiente de escorrentía de acuerdo con el tipo de superficie, puesto que este parámetro se limita a ser digitado por el usuario, lo cual deriva en un error de cálculo en el parámetro asignado según factores ambientales como el tipo de suelo, la pendiente y las zonas impermeables del área de drenaje (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, 2016). El segundo, se refiere a la ausencia de comprobación de la digitación correcta en el apartado de coeficiente de escorrentía y subárea correspondiente, el tercero atañe a la ausencia de botones de opción que permitan una navegación facilitada por el libro de cálculo y el último indica la falta de instrucciones o comprobaciones que guíen al usuario a un dimensionamiento adecuado (ver Tabla 1, columna 1).

Los siguientes 5 aspectos pertenecen a una segunda categoría de dificultad. El primero se refiere al extenso contenido teórico al principio de cada metodología que acompleja la comprensión para el usuario de la hoja de cálculo, el segundo alude a la dificultad en la interpretación del dimensionamiento debido a la visualización de variables, constantes y cálculos y sus respectivas recomendaciones en una única tabla, el tercero se trata de la dificultad en la identificación de variables que significan lo mismo físicamente pero que son denominadas de manera diferente en las dos metodologías incorporadas, el cuarto aspecto está relacionado a los anteriores ya que concierne a un dimensionamiento poco evidente de la estructura y, por último, se encuentra el requerimiento de una hoja de cálculo externa sobre estructuras anexas que complementan la dimensión de la zona de bio-retención (ver Tabla 1, columna 1).



Respecto a la consulta de otras metodologías, se destacaron documentos de dimensionamiento de SUDS pertenecientes a EE.UU entre ellos, el manual de mejores prácticas de manejo del Servicio de Agua Pluviales de la ciudad de Charlotte y su herramienta de dimensionamiento (Charlotte-Mecklenburg Storm Water Services, 2013), el manual de mejores prácticas de manejo de la División de Recursos Hídricos del Departamento de Conservación y Medio Ambiente de la ciudad de Tennessee (Tennessee Department of Environment and Conservation, 2014); asimismo para Reino Unido fue significativo el manual de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible de la Asociación de Investigación e Información de la Industria de la Construcción, CIRIA junto con su instrumento de dimensionamiento (Woods et al., 2015). De acuerdo con los requisitos mencionados con anterioridad, se halló información pertinente y completa de ciudades de EE.UU incluyendo la perteneciente a las metodologías ya adaptadas (Denver y Riverside). De esta manera se selecciona la metodología de la ciudad de Charlotte, enfocada en la calidad del agua según la configuración de remoción de contaminantes elegida, y que es descrita en el manual de mejores prácticas de manejo de la empresa de Servicios de Aguas Pluviales de la región de Mecklenburg (Charlotte-Mecklenburg Storm Water Services, 2013).

En consecuencia, se obtiene una versión mejorada de la herramienta con tres metodologías actualizadas (ver Anexo 1). La primera pestaña contiene un manual de usuario práctico, en la segunda pestaña se visualiza el inicio (ver Figura 1), con un botón dinámico que dirige al usuario al primer componente importante evidenciado en la tercera pestaña, el volumen de calidad, basado en el volumen de escorrentía máximo que la estructura puede retener y tratar. En este punto es importante destacar que los valores de los coeficientes de escorrentía usados son sugeridos en la norma NS-085 (EAAB, 2009) y en la hoja electrónica son guardados automáticamente según la superficie escogida de un menú desplegable.

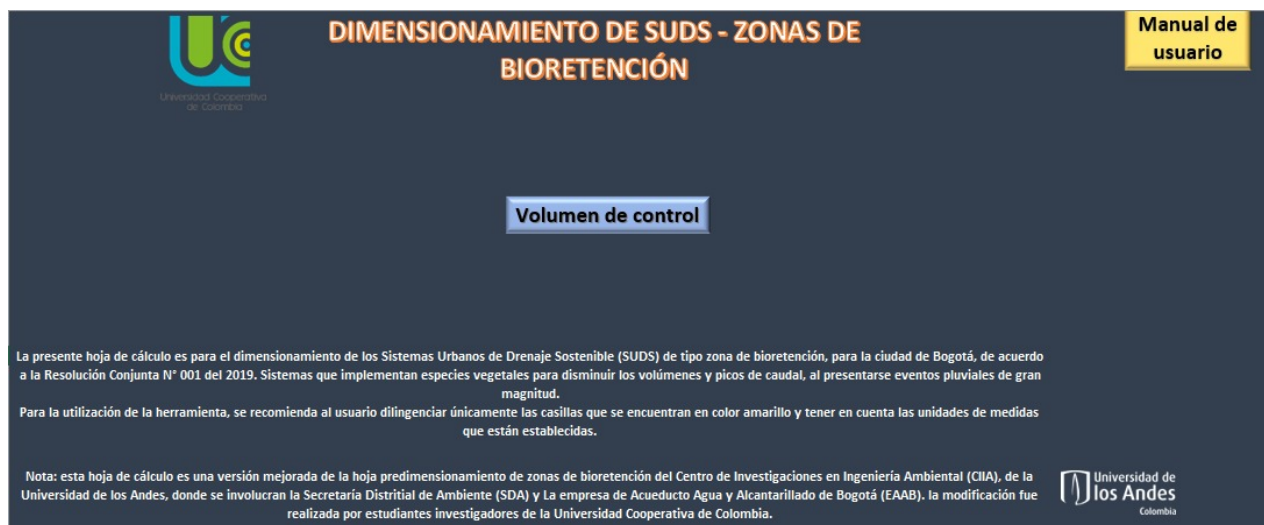


Figura 1. Pestaña de inicio de la nueva hoja de cálculo.

Fuente: Los autores

Una vez se haya diligenciado la sección del volumen de calidad, el usuario puede elegir la metodología de dimensionamiento de preferencia, distribuidas en 3 pestañas tituladas "Metodología Denver", "Metodología Riverside", que a su vez se despliega en las opciones "Con pendiente" o "Sin pendiente lateral" y por último la "Metodología Charlotte". Cada método está



organizado en una estructura similar: primero se encuentran las variables de la zona inundable, en segunda instancia los parámetros del sustrato, en tercera medida las variables de la capa de drenaje, como cuarto las pertenecientes a la pendiente lateral (cuando corresponda) y por último el usuario es dirigido al resumen del dimensionamiento de la estructura (ver Figura 2). La sección de cálculos está acompañada de figuras ilustrativas que permiten observar las partes del sistema, de textos emergentes, sugerencias y colores alusivos a cada metodología, que facilitan la navegación. Para cada componente de la zona de bio-retención se recomiendan estructuras anexas a través de botones que dirigen a la hoja “Estructuras anexas” en donde se detallan los parámetros y restricciones de diseño de las estructuras complementarias; en la última hoja de libro denominada “Resumen metodologías” se presenta un cuadro resumen de dimensionamiento de todas las metodologías (ver Figura 3). En la Tabla 1, columna 2 se observa de manera sintética las modificaciones realizadas.

DIMENSIONAMIENTO DE LA ZONA DE BIORETENCIÓN

ZONA INUNDABLE

| Variable | Valor | Unidades |
|----------|-------|----------|
| A_f | 6 | m^2 |
| d | 0.2 | m |

Volver

SUSTRATO

| Variable | Valor | Unidades |
|----------|-------|----------|
| d_s | 0.5 | m |

DRENAJE

| Variable | Valor | Unidades |
|----------|-------|----------|
| d_d | 0.5 | m |

VALORES TOTALES DE LA ESTRUCTURA

| Variable | Valor | Unidades |
|----------|-------|----------|
| W_s | 2 | m |
| d_r | 1.2 | m |

Figura 2. Vista del cuadro resumen de dimensionamiento con la metodología Riverside con pendiente lateral.
Fuente: Los autores



DIMENSIONAMIENTO CON TODAS LAS METODOLOGÍAS

| Zona de la estructura | Variables | Metodologías | | | |
|-----------------------|-----------|--------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|
| | | Denver | Riverside (con pendiente lat.) | Riverside (sin pendiente lat.) | Charlotte |
| Zona inundable | A_f | 12.00 | 6.00 | 1.73 | 4.13 |
| | d | 0.30 | 0.18 | 0.20 | 0.20 |
| Sustrato | d_m | 0.80 | 0.50 | 0.80 | 1.22 |
| Drenaje | d_c | 0.30 | 0.50 | 0.40 | 0.30 |
| Totales | W_s | N/A | 2.00 | 0.70 | N/A |
| | d_p | 1.40 | 1.18 | 1.40 | 1.72 |

Figura 3. Vista del cuadro resumen de dimensionamiento con todas las metodologías.
Fuente: los autores

Tabla 1. Modificaciones de la hoja de cálculo

| Categoría | Aspectos a mejorar de la hoja de cálculo (Uniandes, EAAB y SDA) | Acción de mejora de la hoja de cálculo (UCC, ECCI Y Unicolmayor) |
|---------------|---|--|
| De ausencia | Se digita el coeficiente de escorrentía sin referenciación. | El coeficiente de escorrentía se guarda internamente según el tipo de superficie escogido de un menú despegable. |
| | Ausencia de comprobación entre variables y de digitación. | Se hacen comprobaciones internas, se señala el error y se recomiendan opciones de cambio de digitación cuando se incumpla una condición. |
| | Ausencia de botones dinámicos. | Adición de botones dinámicos para una mejor navegación en el libro. |
| De dificultad | Presenta alto contenido teórico al principio de cada metodología. | Adición de un manual práctico al principio del libro. |
| | Se presentan parámetros parciales. | Los valores o cálculos parciales son ocultados, la herramienta se centra en la recolecta de parámetros requeridos por el usuario. |
| | Se muestran parámetros y cálculos con su nombre y símbolo en una misma tabla. | Los parámetros se visualizan por separado, distribuidos según la capa correspondiente, acompañados de anotaciones y textos flotantes con instrucciones o nombres de las variables. |
| | Diferencia entre denominación de variables con el mismo significado teórico. | Unificación de denominación de variables en todas metodologías para su fácil recordación y comprensión. |
| | El dimensionamiento no se evidencia claramente. | Se muestra un cuadro resumen del dimensionamiento por cada metodología y de todas las metodologías para permitir una comparación entre estas. |
| | Las estructuras anexas se encuentran alojadas en una hoja de cálculo externa. | Durante la navegación de cada metodología existen botones que dirigen a las estructuras complementarias correspondientes a cada capa. |

Fuente: Los autores



4. Conclusiones y recomendaciones

La implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible de tipo zona de bio-retención pueden proveer una solución para controlar inundaciones en el casco urbano debido al aumento de áreas permeables que facilita el transporte del agua pluvial. De modo que la nueva versión actualizada de la herramienta de los SUDS tipo zona bio-retención, logra facilitar su uso por parte del público en general de manera interactiva, evitando errores en su ejecución y con ayudas gráficas para el entendimiento del usuario, además de contar con un cuadro resumen a fin de unificar y comparar los resultados obtenidos para la decisión del usuario según su enfoque. Sin embargo, se recomienda integrar más metodologías en trabajos conjuntos con la academia, centros de investigación y empresas públicas y privadas en busca del progreso para la aplicación de estos sistemas según sus condiciones climáticas, el control y tratamiento de aguas pluviales de gran magnitud en un menor tiempo.

5. Anexos

https://drive.google.com/drive/folders/1NUa_RSr6r3AsvuEilG3KQki5RR7WpbAb?usp=sharing

6. Referencias

- Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental -CIIA. (Febrero, 2017). Investigación de las tipologías y/o tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá D.C. Bogotá: Universidad de Los Andes; Secretaría Distrital de Ambiente; Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Consultado el 16 de junio de 2021 en <http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible>
- Charlotte-Mecklenburg Storm Water Services. (2013). Bioretention BMP Summary Fact Sheet. Charlotte-Mecklenburg BMP Design Manual. Charlotte.
- EAAB. (2009). Criterios de diseño para el alcantarillado. (Norma Técnica de Servicio NS-166).
- Empresa de Alcantarillado y Acueducto de Bogotá. (2018, febrero). Criterios para diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). (Norma Técnica de Servicio NS-166).
- Flood Control and Water Conservation District. (2020). Handbooks for Low Impact Development Best Management Practices. Riverside County.
- Guohao Li, Jiaqing Xiong, Junguo Zhu, Yanzheng Liu, Mawuli Dzakpasu. (2021). Design influence and evaluation model of bioretention in rainwater treatment: A review. Science of The Total Environment, Vol.787.
- Kuppusamy Vijayaraghavan, Basanta Kumar-Biswal, Max Gerrit-Adam, Soon Hong-Soh, Daryl Lee Tsen-Tieng, Allen P. Davis, Soon Hoe-Chew, Puay Yok-Tan, Vladan Babovic, Rajasekhar Balasubramanian. (2021). Bioretention systems for stormwater management: Recent advances and future prospects. Journal of Environmental Management, Vol. 292.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (2016). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO D. Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias. - 2da. Ed. / Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico



- (Ed.); Universidad de los Andes. Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados –CIACUA (consultor). Bogotá, D.C., pp. 93.
- Secretaria Distrital de Ambiente. (2011). Sistema Urbanos de Drenaje Sostenible. Consultado el 17 de junio de 2021 en <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/73754/Sistema+Urbanos+de+Drenaje+Sostenible>
 - Sergio Andrés Blanco-Londoño, Patricia Torres-Lozada, & Alberto Galvis-Castaño. (2017). Identification of resilience factors, variables and indicators for sustainable management of urban drainage systems, Vol. 84, No. 203, pp. 126 - 133.
 - R. Andrew Tirpak, Jon M. Hathaway, Anahita Khojandi, Matthew Weathers, Thomas H. Epps. (2021). Building resiliency to climate change uncertainty through bioretention design modifications. Journal of Environmental Management, Vol. 287.
 - Urban Drainage and Flood Control District-UDFCD. (2015). Volume 3. Stormwater Best Management Practices. Urban Storm Drainage Criteria Manual. Denver, Colorado: Water Resources Publications, LLC.
 - Woods Ballard, B, Wilson, S, Udale-Clarke, H, Illman, S, Scott, T, Ashely, R and Kellagher, R. (2015). The SuDS Manual. London, CIRIA.
 - Yang, Xiaoqian. (2020). Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS). [Tesis de Maestría, Universidad de Alcalá]. Consultado el 17 de junio de 2021 en https://ebuah.uah.es/xmlui/bitstream/handle/10017/44115/TFM_Yang_Xiaoqian_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=yiaoqian_2020.pdf (uah.es)

Sobre los autores

- **Heidy Dayana Díaz:** Aspirante a Ingeniera Ambiental de la Universidad Cooperativa de Colombia. Estudiante. heidy.diazo@campusucc.edu.co
- **Leydi Yohana Silva:** Aspirante a Ingeniera Ambiental de la Universidad Cooperativa de Colombia. Estudiante. leydiy.silva@campusucc.edu.co
- **Edna Patricia Gutiérrez:** Ingeniero Ambiental, Magister en ingeniería ambiental de la Universidad de los Andes. Profesor tiempo completo de la Universidad Cooperativa de Colombia. edna.gutierrezl@campusucc.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)

