

Volumen 10 Número 2 , 2020 ISSN: 2711-4260



**REVISTA**  
**AGUNKUYÂA**

---

Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

**AREANDINA**  
Fundación Universitaria del Área Andina  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas



# AGUNKUYAA

Volumen 10 Número 2 , 2020

ISSN: 2711-4260



**AREANDINA**  
Fundación Universitaria del Área Andina

## **Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas**

Transversal 22 Bis, 4 - 105, Valledupar, Colombia

Correo electrónico: rev.agunkuyaa@areandina.edu.co

### **Editor**

**MSc. Hernando Hermida Castillo**  
**Docente Investigador**  
**Programa de Maestría en Gestión Ambiental**  
**Fundación Universitaria del Área Andina**

### **Comité Científico**

**Dr. Cristian Julián Díaz Álvarez**  
**Fundación Universitaria del Área Andina.**

**MSc. Martha Cervantes Díaz**  
**Docente Investigador**  
**Universidad Santo Tomás – Seccional**  
**Bucaramanga**

**MBA. Diego Andrés Molina Casallas**  
**Director de calidad y Medio Ambiente**  
**Procaps – Bogotá**

**Dra. Gabriela Arrita Loyo**  
**Docente Investigador**  
**Universidad Nacional de Colombia - Bogotá**

**MSc. Carlos Alberto Abreo Villamizar**  
**Investigador**  
**Universidad del País Vasco - España**

### **Comité Editorial**

**Dr. Cristian Julián Díaz Álvarez**  
**Decano Nacional**  
**Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas**  
**Fundación Universitaria del Área Andina**

**Dr. Eduardo Mora Bejarano**  
**Decano Nacional**  
**Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias**  
**Fundación Universitaria del Área Andina**

**MSc. Camilo Andrés Cuellar Mejía**  
**Subdirector Nacional de Publicaciones.**  
**Fundación Universitaria del Área Andina**

**MSc. Hernando Hermida Castillo**  
**Docente Investigador**  
**Programa de Maestría en Gestión**  
**Ambiental**  
**Fundación Universitaria del Área Andina**

## **Consejo Directivo**

Pablo Oliveros Marmolejo †  
Gustavo Eastman Vélez  
**Miembros Fundadores**

Diego Ernesto Molano Vega  
**Miembro Asamblea General - Presidente**  
**Consejo Superior**

José Leonardo Valencia Molano  
**Rector Nacional - Representante Legal**  
**Miembro del Consejo Superior**

Martha Patricia Castellanos Gutiérrez  
**Vicerrectora Académica Nacional**

Felipe Baena Botero  
**Rector Seccional Pereira**

Gelca Patricia Gutiérrez Barranco  
**Rectora Sede Valledupar**

Cristian Julián Díaz Álvarez  
**Decano de la Facultad de Ingeniería y**  
**Ciencias Básicas**

## **Política Editorial**

La *Revista Agunkuyâa* es una publicación académica de carácter científico que tiene como propósito la divulgación del conocimiento generado a partir de investigaciones, reflexiones y disertaciones que contribuyan a ampliar el conocimiento en todos los campos de las ciencias. Esta publicación se dirige a la comunidad académica en general y de manera especial a docentes y estudiantes.

Editorial

*Cristian Julián Díaz Álvarez*

Análisis de datos de la obtención de ácido láctico a partir de residuos de piña

*(Ananas comosus)*

*Margie Alejandra Ripe Gutiérrez, Eileen Xiomara Guerra, Martha Cervantes Díaz.*

Mordeduras de serpientes en un área de explotación minera. Cesar, Colombia. 2017-2019

*Angel Alexis Muegues, Jessany Redondo Guerra*

Validación del coeficiente de rugosidad de Manning en un canal a flujo libre bajo condición de flujo uniforme

*Nicolás M. Solano, Mónica V. Sandoval, Jennifer D. Sánchez, María A. Jones.*

Caracterización de materia prima utilizada para fabricación artesanal de unidades de mampostería en las ladrilleras El Cielo y Las Casitas, Valledupar - Colombia

*José C Galindo González, María Teresa Crespo Guerra, Oscar Antonio Mahecha Meza, Naty Vanesa Rivero Galvis, Javier Enrique y Orozco Ospino, Ricardo Andrés García-León.*

Análisis de gestión ambiental en el manejo de residuos de construcción y demolición en obras en la ciudad de Valledupar

*Andrés Felipe Briceño Santiago, Karen Dayana Márquez Tinoco.*

# Contenido

Revista Agunkuyâa

Valledupar, Cesar

Volumen 10, Número 2, páginas 1 a 106, 2020

- 7 Editorial  
Cristian Julián Díaz Álvarez
- 9 Análisis de datos de la obtención de ácido láctico  
a partir de residuos de piña (*Ananas comosus*)  
*Margie Alejandra Ripe Gutiérrez, Eileen Xiomara Guerra,  
Martha Cervantes Díaz*
- 23 Mordeduras de serpientes en un área de explotación minera. Cesar,  
Colombia. 2017-2019  
*Angel Alexis Muegues, Jessany Redondo Guerra*
- 35 Validación del coeficiente de rugosidad de Manning  
en un canal a flujo libre bajo condición de flujo uniforme  
*Nicolás M. Solano, Mónica V. Sandoval, Jenifer D. Sánchez,  
María A. Jones*
- 48 Caracterización de materia prima utilizada para fabricación artesanal  
de unidades de mampostería en las ladrilleras El Cielo y Las Casitas,  
Valledupar – Colombia  
*José C Galindo González, María Teresa Crespo Guerra,  
Oscar Antonio Mahecha Meza, Naty Vanesa Rivero Galvis,  
Javier Enrique Orozco Ospino, Ricardo Andrés García-León*
- 62 Análisis de gestión ambiental: manejo de residuos de construcción y  
demolición de obras en Valledupar  
*Andrés Felipe Briceño Santiago, Karen Dayana Márquez Tinoco*

- 74 | Geodésicas ecuatoriales en espacio-tiempos conformestáticos axialmente simétricos producidos por discos relativistas de Kuzmin-Toomre con Halo  
*Luis Carlos Jaimes Supelano*
- 87 | Aprovechamiento del grano de caucho reciclado para la elaboración de adoquines ecológicos como alternativa a la industria constructiva  
*Luis Ángel Jaimes Leal, Karina Paola Torres Cervera, Pedro Juan Torres Flores*



# Editorial

Cristian Julián Díaz Álvarez

Decano Nacional  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas  
Fundación Universitaria del Área Andina

Un medio de divulgación de una institución de educación superior es la expresión de su capacidad en investigación, trabajo académico y nivel de convocatoria. Así mismo, de su visión e imaginarios sobre mundos posibles en tan restrictivos momentos globales.

Agunkuyâa, revista de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, por su nueva estructura *multicampus*, no solo ha cambiado su imagen, portada y estilo de diagramación — un cambio gráfico y conceptual inspirado en los pueblos originarios de Colombia, en especial los que habitan la Sierra Nevada de Santa Marta, que en su diversidad coexisten en tan único territorio colombiano— sino que cuenta con nuevo Comité Editorial y Científico.

En este orden de ideas, parte de la producción académica de los profesores, estudiantes y administrativos de los *campus* de Bogotá, Pereira y Valledupar será publicada en nuestra revista como muestra de unión con un fin común: cualificar la docencia, generar conocimiento, desarrollar tecnología y aplicar la ingeniería en la resolución de problemas de un país necesitado.

Liderada por el profesor Hernando Hermida Castillo y la decanatura nacional de Ingeniería y Ciencias Básicas, Agunkuyâa ha logrado convocar en esta nueva etapa profesionales, estudiantes de posgrado, docentes e investigadores vinculados a instituciones de educación de Colombia y el extranjero; haciéndola más diversa y representativa.

Los temas que a partir de nuevas ediciones se pondrán en circulación abierta para todos los lectores estarán acompañados por ediciones especiales, en función de las actividades que adelanta la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, desde su macro proyecto de investigación “Cambio Climático y Desarrollo Sostenible”; las líneas de investigación de sus cinco grupos reconocidos y categorizados por el

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, y las líneas de profundización de los diez programas de pregrado y posgrado existentes.

Espero, como Decano Nacional de Ingeniería y Ciencias Básicas, que este número sea de agrado por lo fascinante de sus artículos sobre ofidios, hidráulica, industria de cerámica roja, gestión de residuos, catastro y geodesia; analítica de datos, economía circular y análisis de datos en la obtención de ácido láctico.

Finalizo invitando a los lectores para que en un futuro próximo sometan sus textos a la revista, que arduamente trabaja por la meta de obtener su indexación.

Dios los siga protegiendo en estos momentos de infestación.

# Análisis de datos de la obtención de ácido láctico a partir de residuos de piña (*Ananas comosus*)

## Data Analysis of Obtaining Lactic Acid from Pineapple Residues (*Ananas comosus*)

Recibido: 20 de noviembre de 2020. Recibido en revisión: 04 de diciembre de 2020.

Aceptado: 17 de marzo de 2021.

DOI: <https://doi.org/10.33132/27114260.1905>

Margie Alejandra Ripe Gutiérrez<sup>1</sup>; Eileen Xiomara Guerra<sup>1</sup>, Martha Cervantes Díaz<sup>1</sup>

### Resumen

El aprovechamiento de los residuos biodegradables provenientes del procesamiento de frutas y verduras representa una gran oportunidad de disminuir el impacto ambiental. Es el caso de los residuos de piña que sirven de materia prima para la obtención de diversos compuestos incluyendo ácido láctico, insumo de gran importancia en diferentes industrias. Esta investigación tuvo como objetivo analizar las tendencias de la publicación de artículos relacionados con la obtención de ácido láctico a partir del uso de piña y sus residuos como sustrato de partida. Se utilizaron 87 artículos obtenidos mediante ecuación de búsqueda en la base de datos Scopus (Elsevier, B.V., 2021) publicados entre 2010 y 2020. Aunque no se observa una tendencia definida en la distribución de los documentos por año, se percibe un gran interés en el tema; 2020 fue el año de mayor actividad científica (15 publicaciones); estos trabajos aplican, predominantemente, en diferentes campos de conocimiento —investigativo, inmunología y microbiología, seguidos de ciencia de materiales y en una menor proporción agricultura y ciencias biológicas—. Los países con más publicaciones son Malasia y Tailandia con 15 documentos. En cuanto a los microorganismos más estudiados para la obtención de ácido láctico mediante proceso biotecnológico se identificaron el *Lactobacillus plantarum* y *Escherichia coli*. El aumento en el número de publicaciones refleja interés en la búsqueda de alternativas ambientales para la

---

<sup>1</sup> Facultad de Química Ambiental, Programa de Maestría en Ciencias y Tecnologías Ambientales, Grupo de Investigaciones para el Desarrollo Sostenible, Universidad Santo Tomás, Bucaramanga. martha.cervantes@ustabuca.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-4427-687> margie.ripe@ustabuca.edu.co.

valorización de estos residuos agroindustriales; obtención de compuestos de interés y aplicación en las áreas farmacéutica, cosmética e industrial, entre otras.

**Palabras clave:** ácido láctico, *Ananas comosus*, biotecnología, *Lactobacillus*, piña.

## Abstract

The use of biodegradable waste from the processing of fruits and vegetables represents an excellent opportunity to reduce the environmental impact; for instance, pineapple residues serve as raw material for obtaining different compounds, including lactic acid, an input of great importance to different industries. This research discusses the trends in publishing articles related to obtaining lactic acid from pineapple and its residues as a starting substrate. We used 87 articles published between 2010 and 2020, obtained from a search equation in the Scopus (Elsevier, BV, 2021) database. Although there is no definite trend in the distribution of documents per year, there is great interest in the subject. The year 2020 featured the highest scientific activity (15 publications). These articles encompass various knowledge domains, especially immunology and microbiology, followed by materials science and, to a lesser extent, agriculture and biological sciences. The countries with the most publications are Malaysia and Thailand, with 15 papers. As for the most studied microorganisms to get lactic acid through a biotechnological process, *Lactobacillus plantarum* and *Escherichia coli* were identified. The increased number of publications shows an interest in searching for environmental alternatives to recover these agro-industrial residues and obtain compounds of interest for pharmaceutical, cosmetic, and industrial applications.

**Keywords:** *Ananas comosus*, pineapple, biotech, *Lactobacillus*, lactic acid.

## Introducción

La generación de residuos agroindustriales en el mundo representa un desafío ambiental, ya que al no ser aprovechados causan un deterioro progresivo del medio ambiente. Los desechos agroindustriales son residuos orgánicos sólidos que se producen durante la cosecha de frutas y la preparación de alimentos para consumo humano y animal; estos incluyen partes no comestibles de las frutas como cáscaras y semillas (Kuan y Liong, 2008). La creciente preocupación por el aprovechamiento de estos residuos ha producido interés en la comunidad científica debido a que pueden utilizarse como materia prima en la industria. Según (Beltrán-Ramírez *et al.*, 2019) estos residuos agroindustriales brindan un enorme potencial para generar biomateriales, biocompuestos activos y bioenergía.

La mayoría de estos residuos terminan en vertederos o rellenos sanitarios provocando impacto ambiental negativo y deficiencia en la cadena de producción. El Área Metropolitana de Bucaramanga produce cerca de 350 Ton/semana de residuos sólidos en las plazas de mercado de los municipios pertenecientes a la misma; de la cantidad total, casi 220

Ton/semanales (61,9%) son residuos de origen orgánico como cáscaras de piña, maracuyá y naranja que son depositados en el relleno sanitario El Carrasco. Una caracterización del tipo de desecho que se produce en la plaza de mercado de San Francisco mostró una generación de residuos cercana a 7 Ton/semana donde 25,1 % corresponde a cáscaras de piña, seguida de cáscaras de cítricos (9,2 %) (Vargas A., 2016).

Los residuos sólidos de piña se consideran materia prima de diferentes productos. Son fuente de fibra, contienen abundante celulosa, hemicelulosa y otros carbohidratos, enzimas (e.g., bromelina), azúcares (e.g., fructosa) y polifenoles, (e.g., el ácido ferúlico) (Aida *et al.*, 2011) (Ketnawa *et al.*, 2012).

Otro compuesto que se obtiene a partir de la cáscara de la piña es el ácido láctico —LA, por sus siglas en inglés— como se observa en la figura 1. Industrialmente puede ser producido por síntesis química o producción biotecnológica. La principal desventaja de la síntesis química es la obtención de mezclas racémicas de ácido D (-) y L (+) láctico, debido a que la separación de los isómeros es compleja y costosa. La obtención por producción biotecnológica se lleva a cabo con microorganismos cuya principal ventaja

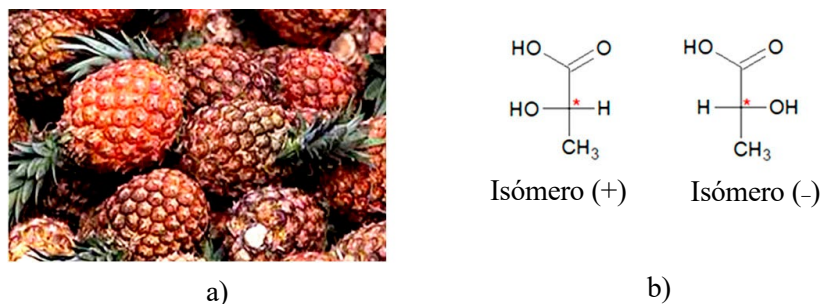


Figura 1. Estructura de los isómeros del ácido láctico.

Nota. Isómeros del ácido láctico que pueden obtenerse a partir de la piña *Ananas comosus*. a) Adaptado de *Ananas sp.* [Fotografía], por Salcedo, 2016, Institucional de Documentación Científica Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

(<http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/1520>) b) Licencia: ACD/ChemSketch Freeware versión 2020.1.1

Fuente: Autor, 2021.

es la alta especificidad del producto ya que produce el estereoisómero deseado, L (+) o D (-) LA ópticamente puro. (Torre, 2019).

La importancia de esta investigación radica en la estrategia que permite disminuir la cantidad de residuos agroindustriales no aprovechados; evitar vertimientos —al no ser dispuestos directamente en rellenos sanitarios—; también busca valorizar el residuo a través de la obtención de LA mediante producción biotecnológica; esto es decisivo, debido a que se emplean fuentes renovables que no tienen en cuenta síntesis químicas producen, finalmente, ácido láctico puro de potencial uso industrial.

El LA tiene gran aplicación en la industria alimentaria, como saborizante, conservante o acidulante. Se ha demostrado que posee una alta capacidad para inhibir el crecimiento de patógenos que podrían alterar las características organolépticas de los alimentos. En el caso de la industria cosmética se usa como humectante, regulador de pH y electrolito en sueros intravenosos. En la industria de los plásticos biodegradables constituye materia prima para sintetizar ácido poli L – láctico (APL). (Araya, 2010; Tejeda *et al.*, 2010; Tenea *et al.*, 2020; Vijayakumar *et al.*, 2008).

La creciente conciencia ambiental en la sociedad ha impulsado las empre-

sas a emplear plásticos biodegradables como los de APL en empaques y envases. Esta situación incide en la demanda de grandes cantidades de LA. El consumo de este producto fue 1.200 kTon en 2016, proyectando un crecimiento anual de 16,2 % hasta 2025, lo que representa aproximadamente 9,8 billones de dólares americanos en el mercado mundial. En la actualidad, el LA posee un precio entre 1,3 \$/kg a 2,3 \$/kg y su porcentaje de pureza comercial es del 88 %. (Biddu *et al.*, 2016; Oliveira *et al.*, 2018).

Según estas consideraciones, el ácido láctico es un compuesto de interés científico desde hace mucho tiempo; la investigación orientada a su producción abarca el estudio de diferentes sustratos, metodologías de obtención, separación y cuantificación, como también sus potenciales usos. Su obtención a partir del aprovechamiento de residuos agroindustriales permite el acceso a una gran variedad de biomasa lo que brinda muchas alternativas ambientalmente sostenibles, favoreciendo el entorno económico social de los cultivadores de piña, en este caso, especialmente, del departamento Santander.

En 2018, Santander generó 43 % de la producción de piña del país con 455.701

Ton/año. Los municipios de este departamento, con mayor producción fueron Lebrija con 267.250 Ton (59 %), Rio-negro 71.005 Ton (16 %), Girón 47.263 Ton (10 %) y los otros municipios con una producción de 69.469 Ton (15 %). (Gonzales, 2019, Romero, 2019). Teniendo en cuenta que en los cultivos de piña los residuos no aprovechables (hojas, tallos, raíces) generan entre 200 y 250 Ton/ hectárea cosechada, hace que estos sean una biomasa disponible para la obtención de coproductos de interés. (Soto, 2016).

## Metodología

Se realizó una revisión bibliográfica de artículos científicos indexados en la base de datos Scopus (Elsevier, B. V., 2021), con el fin de definir tendencias en investigación, en la obtención del ácido láctico a partir de la piña y sus residuos e identificar los principales microorganismos. Se estructuró la siguiente ecuación de búsqueda (TITLE-ABS-KEY («*lactic acid*») AND TITLE-ABS-KEY ( pineapple OR “*Ananas comosus*” ) ) AND DOCTYPE ( ar ) AND PUBYEAR > 1999. se empleó el programa especializado para minería de texto *VantagePoint* (*Search Technology*, Versión académica 12.0).

## Análisis y discusión de resultados

De acuerdo con la ecuación de búsqueda planteada se obtuvieron 87 artículos indexados en la base de datos Scopus, los cuales referencian estudios para la obtención de ácido láctico a partir de piña. Estos trabajos aplican en diferentes campos de conocimiento (figura 2), como es el caso de la agricultura y ciencias biológicas que presentan 50 documentos relacionados con investigación en alimentos. Un ejemplo de estas publicaciones —desarrollada por Nguyen *et al.*, (2019, p. 1)— estudió la fermentación del jugo de piña utilizando cepas de bacterias de ácido láctico (*Lactobacillus* y *Bifidobacterium*) donde se halló cambios en la estabilidad de las bebidas durante el almacenamiento.

En los campos de bioquímica, genética y biología molecular y ciencia de los materiales se encontraron 19 y 17 artículos registrados, respectivamente. Las aplicaciones en estos campos están relacionadas con biotecnología, microbiología, farmacia y producción de biopolímeros. El siguiente campo de conocimiento con mayor relevancia en cuanto a cantidad de artículos publicados es química con 16 artículos; en la investigación de (Díaz-Vela *et al.*, 2015, p. 2636) se evaluó el potencial que posee la cáscara de frutas como nopal y piña —ingredientes funcionales, fuente de fibra, textura y probióticos— en productos cárnicos cocidos. Uno de los resultados relevantes fue la mejora en el desarrollo de las bacterias de ácido láctico en los productos cárnicos durante su almacenamiento.

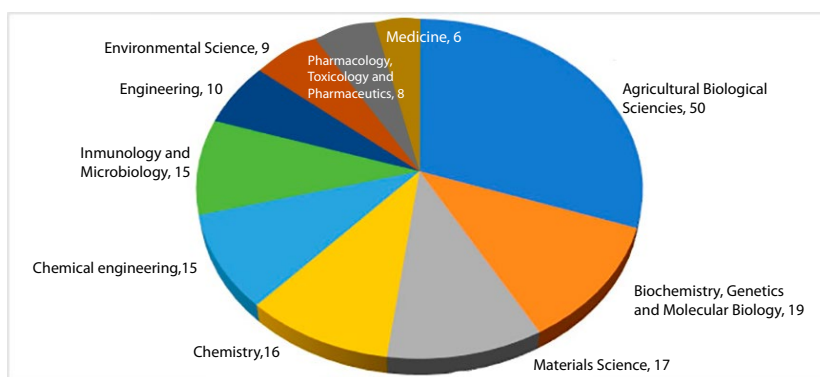


Figura 2. Distribución del interés de la obtención de ácido láctico a partir de la piña.

Nota. Fuente: Unidad de Bibliometría- CRAI Biblioteca Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga. Cálculos basados en información de la base de datos Elsevier (Scopus B.V., 2021), procesados con VantagePoint (Search Technology, versión académica 12.0).



En la figura 3 se presenta la dinámica científica, la cual se mide por número de artículos publicados por año. En este caso, se definió el período de revisión entre 2010 y 2020. En 2012 solo se registró una publicación relacionada con el uso de técnicas instrumentales para la caracterización de compuestos volátiles en panes de piña (Ying *et al.*, 2012, p. 13802). Para 2015 la cantidad de registros aumentó a 12, observándose una tendencia en el estudio de esta fruta en el campo de la agricultura y ciencias biológicas. Finalmente, el año de mayor actividad fue 2020 con 15 publicaciones. Estos trabajos aplican en diferentes campos del conocimiento donde predomina el campo investigativo de inmunología y microbiología seguido de ciencia de materiales y, en una menor proporción, agricultura y ciencias biológicas.

En cuanto a distribución por países (figura 4) destaca Tailandia con 15 publicaciones relacionadas con aprovechamiento de desechos de piña en agricultura y ciencias biológicas, ingeniería química y ciencia de los materiales debido, quizás, a que este país se encuentra entre los principales a nivel mundial —ocupa el puesto número cuatro— en producción de esta fruta, según la FAO. (*Food and Agriculture Organization (FAO), 2017*). Por otro lado, Malasia, que ocupa la posición 18, también presenta 15 publicaciones —quizá porque este país clasificaba como uno de los principales productores de piña a nivel mundial hasta 2000 y aunque su producción ha disminuido sigue haciendo parte de los 20 mayores productores en la actualidad (Pariona, 2018)—.

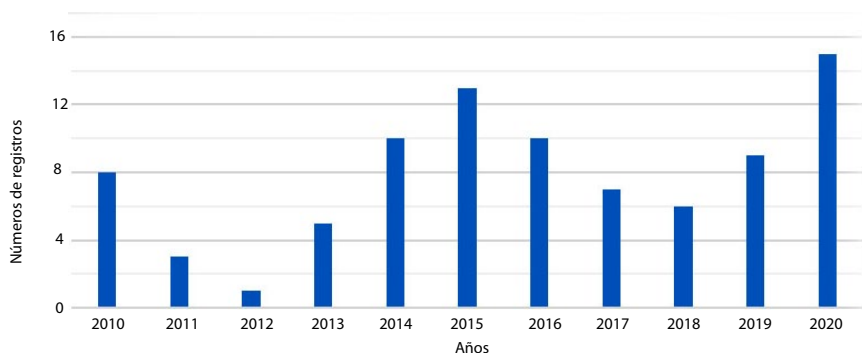


Figura 3. Dinámica científica obtención de ácido láctico a partir de la piña.

Nota. Fuente: Unidad de Bibliometría- CRAI Biblioteca Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga. Cálculos basados en información de la base de datos Elsevier (Scopus B.V., 2021), procesados con VantagePoint (Search Technology, versión académica 12.0).

A nivel de Latinoamérica sobresalen México y Brasil con siete y cuatro publicaciones, respectivamente. México es considerado un productor pequeño de piña a nivel mundial, sin embargo, es el segundo mayor proveedor de esta fruta a Estados Unidos de América (*Food and Agriculture Organization* (FAO), 2019). Las publicaciones se relacionan con procesos biotecnológicos de fermentación de diferentes partes de la fruta. Por su parte, los trabajos de Brasil se relacionan con el aprovechamiento de residuos de la piña en el campo de los biopolímeros y alimentos; este país ocupa el tercer puesto a nivel mundial en cuanto a la producción de piña, la cual es destinada

principalmente para el consumo interno (*Food and Agriculture Organization* (FAO), 2018)

Colombia solo aparece con un artículo indexado en la base de datos, de acuerdo con la ecuación de búsqueda empleada, donde emplearon desechos de piña variedad oro miel y subproductos de Sacha inchi; caracterizaron su forma elemental, física y química con el fin de formular un sustrato de fermentación suplementado (SFS) para el crecimiento de *Weissella cibaria* y hubo una producción de biomasa de 2,93 g/L con viabilidad de 9,88 log CFU/mL (Micanquer-Carlosma *et al.*, 2020).

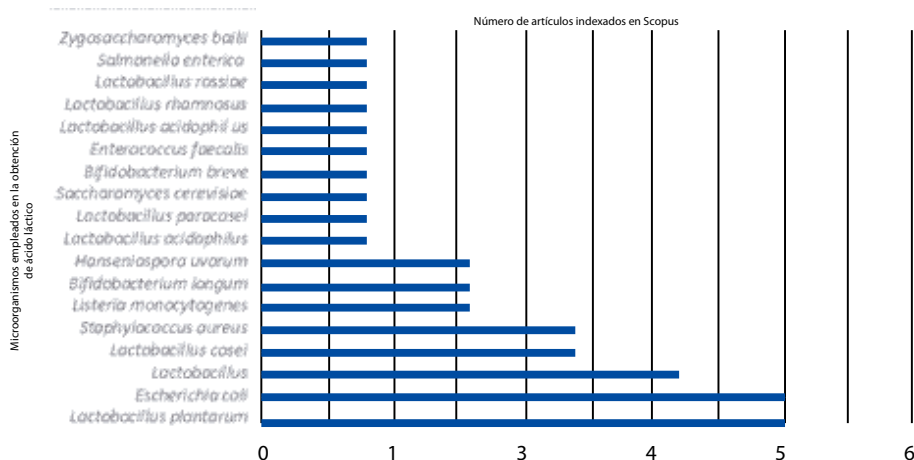


Figura 4. Distribución por países de artículos relacionados con la obtención de ácido láctico a partir de la piña.

Nota. Fuente: Unidad de Bibliometría- CRAI Biblioteca Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga. Cálculos basados en información de la base de datos Elsevier (Scopus B.V., 2021), procesados con VantagePoint (Search Technology, versión académica 12.0).

Se realizó también el análisis de co-ocurrencia de las palabras clave, el cual se incluye dentro de los indicadores relacionales que permiten identificar tendencias en la temática de interés, en este caso, el estudio del ácido láctico. Para visualizar la relación entre términos empleados por los autores se empleó el programa gratuito Vosviewer (2021, *Centre for Science and Technology Studies, Leiden University, The Netherlands*, versión 1.6.15).

En la figura 5 se observa la relación que presentan las palabras clave asociadas con la obtención del ácido láctico a partir de la piña y sus residuos. Un grupo grande de estas palabras describen procesos fermentativos y biotecnológicos, en los cuales se emplean microorganismos tipo probióticos. Otro clúster de palabras está asociado con la aplicación del ácido poliláctico como polímero biodegradable, el uso de las fibras como refuerzos estructurales de otros biopolímeros, entre otros.

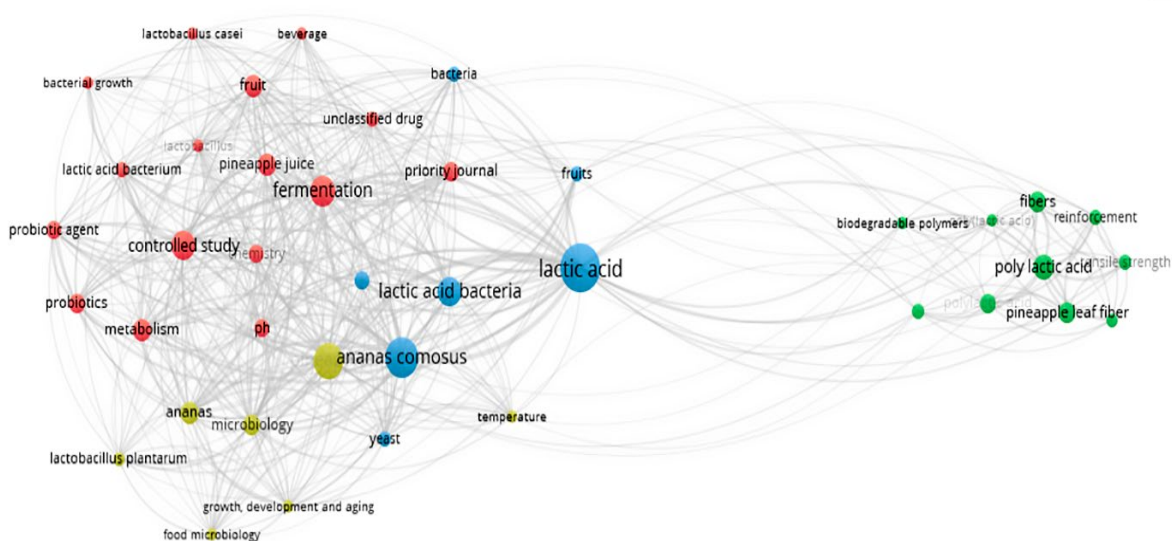


Figura 5. Relación de las palabras clave de mayor co-ocurrencia.

Nota. Fuente: Unidad de Bibliometría del CRAI Biblioteca de la Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga, cálculos basados en información de Scopus (Elsevier, 2021) y analizados con el programa gratuito VOSviewer versión 1.6.15

Se analizaron términos asociados con piña y microorganismos para encontrar términos asociados con piña y microorganismos empleados para la obtención de ácido láctico —se identificaron 18; la gran mayoría pertenece al género *Lactobacillus*, destacando el *Lactobacillus plantarum* (5), seguido por el microorganismo *Escherichia coli* (5). Algunos autores tan solo definieron el género *Lactobacillus* (4), como se observa en la figura 6—. Entre otros microorganismos que han sido evalua-

dos para la obtención de ácido láctico se encuentran *Staphylococcus aureus* (3), *Listeria monocytogenes* (2), *Bifidobacterium longum* (2), *Hanseniaspora uvarum* (2), *Saccharomyces cerevisiae* (1), *Bifidobacterium breve* (1), *Enterococcus faecalis* (1), *Salmonella enterica* (1) y *Zygosaccharomyces bailii* (1). Los trabajos en los cuales se emplea *Escherichia coli* han sido reportados por investigadores de Malasia, Indonesia e Italia. El *Staphylococcus aureus* se estudió en Malasia e Indonesia.

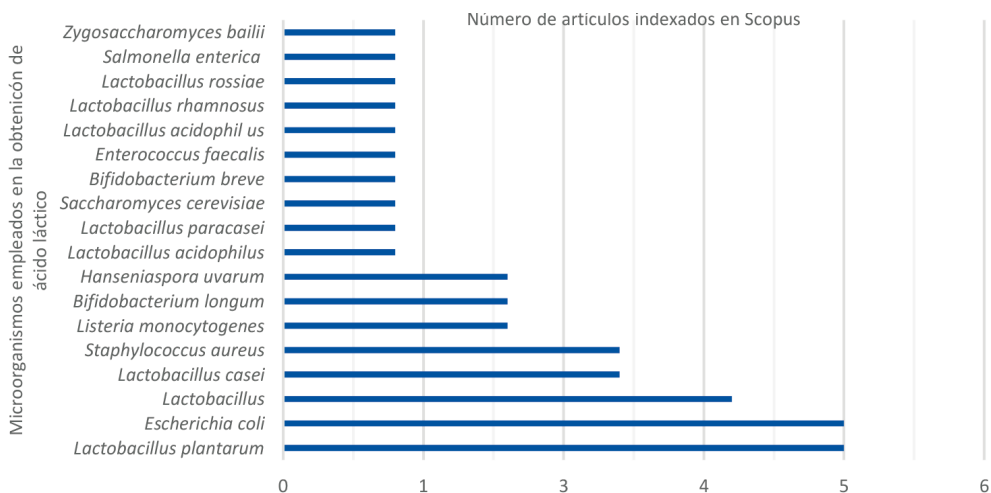


Figura 6. Microorganismos empleados para la obtención de ácido láctico.

Nota. Fuente: Unidad de Bibliometría- CRAI Biblioteca Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga. Cálculos basados en información de la base de datos Elsevier (Scopus B.V., 2021), procesados con VantagePoint (Search Technology, versión académica 12.0).

Para la obtención de ácido láctico los autores reportaron el uso de la fruta de piña (18), también las hojas de la planta (10), el jugo de esta fruta (10) y los residuos de piña (4), como se aprecia en la figura 7. La obtención de LA a partir de desechos de piña llevó al avance de investigaciones utilizando diferentes partes de la fruta. Un ejemplo de esto es la investigación desarrollada por (Escobar-Ramírez *et al.*, 2020) donde se empleó la bebida fermentada de la piña para aislar bacterias lácticas con potencial probiótico. Igualmente, los desechos de cáscara de piña fueron empleados en el estudio de (Nguénam *et al.*, 2021) para

obtener ácido láctico utilizando cepas de *Lactobacillus* sp aislada de residuos de frutas tropicales (plátano, papaya, piña y naranja), mediante fermentación y se obtuvo una concentración máxima de ácido láctico a partir de la piña de 26,29 g/L. En otra investigación, se evaluó el potencial de un desecho agroindustrial de piña para la producción de ácido láctico por fermentación, utilizando *Lactobacillus casei* subespecie *rhamnosus*, en esta investigación se obtuvo una concentración máxima de ácido láctico de 75 g/L, debido al consumo total de los azúcares presentes en el medio hidrolizado (Araya *et al.*, 2010).

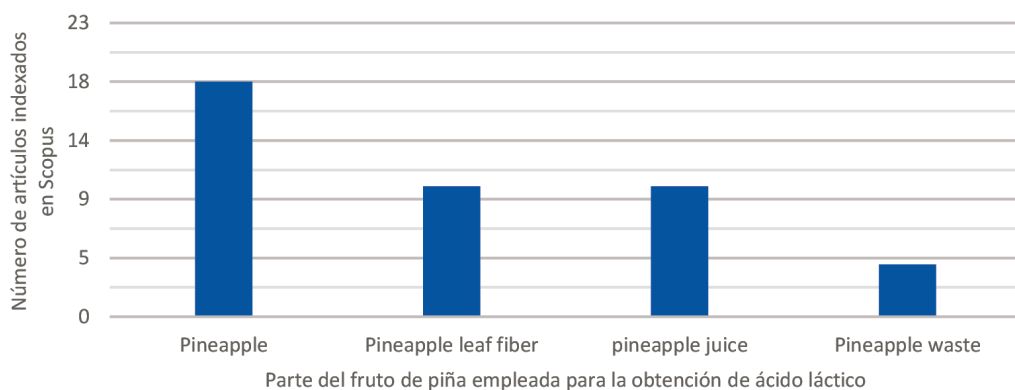


Figura 7. Partes de la fruta de piña empleadas para la obtención de ácido láctico.

Nota. Fuente: Unidad de Bibliometría- CRAI Biblioteca Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga. Cálculos basados en información de la base de datos Elsevier (Scopus B.V., 2021), procesados con VantagePoint (Search Technology, versión académica 12.0).

## Conclusiones

El interés por el estudio del aprovechamiento de la piña y sus residuos para la obtención no tiene una tendencia definida, sin embargo, se puede apreciar un aumento en el número de publicaciones asociadas con este tema, especialmente en Malasia y Tailandia, países catalogados también como los mayores productores de la fruta. Se identificó también que los investigadores orientan los métodos de obtención aplicando procesos biotecnológicos en los cuales introducen diversos microorganismos buscando condiciones óptimas de producción. Considerando lo anterior, se identificaron cerca de 18 microorganismos que han sido evaluados para la obtención de ácido láctico a partir de residuos de piña. Los más empleados corresponden al género *Lactobacillus*. Sin embargo, también se encontraron microorganismos como la *Escherichia coli*, la cual en el campo biotecnológico es una enterobacteria útil por su velocidad de crecimiento y pocas necesidades nutricionales, entre otras ventajas que presenta. Este tipo de investigaciones buscan no solo el desarrollo de tecnologías de aprovechamiento, sino que sean ambientalmente amigables, de manera que se reduzca el impacto negativo ocasionado por la disposición final de este tipo de residuos

biodegradables. También se considera el impacto socio económico para los productores de piña, pues estos procesos de valorización permitirían generar nuevos ingresos para este sector.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Unidad de Bibliometría del CRAI, Biblioteca Universidad Santo Tomás, seccional Bucaramanga.

## Referencias

- Aida, H. I., Mahanom, H., & Norhartini, A. S. (2011). Dietary fibre powder from pineapple by-product as a potential functional food ingredient. *Acta Horticulturae*, 902, 565-568. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2011.902.75>
- Araya-Cloutier, C., Rojas-Garbanzo, C., & Velázquez-Carillo, C. (2010). Síntesis de ácido láctico, a través de la hidrólisis enzimática simultánea a la fermentación de un medio a base de un desecho de piña (*Ananas comosus*), para su uso como materia prima en la elaboración de ácido poliláctico. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 11(7), 407-416.
- Beltrán-Ramírez, F., Orona-Tamayo, D., Cornejo-Corona, I., Luz Nicacio González-Cervantes, J., de Jesús Esparza-Claudio, J., y Quintana-Rodríguez, E. (2019). Agro-Industrial Waste Revalorization: The Growing Biorefinery. In *Biomass for Bioenergy - Recent Trends and Future Challenges*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.83569>

- Biddy, Mary J., Scarlata, Christopher, & Kinchin, Christopher. (2016). Chemicals from Biomass: A Market Assessment of Bioproducts with Near-Term Potential. United States. <https://doi.org/10.2172/1244312>
- Díaz-Vela, J., Totosaus, A., & Pérez-Chabela, M. L. (2015). Integration of Agroindustrial Co-Products as Functional Food Ingredients: Cactus Pear (*Opuntia ficus indica*) Flour and Pineapple (*Ananas comosus*) Peel Flour as Fiber Source in Cooked Sausages Inoculated with Lactic Acid Bacteria. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 2630-2638. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12513>
- Escobar-Ramírez, M. C., Jaimez-Ordaz, J., Escorza-Iglesias, V. A., Rodríguez-Serrano, G. M., Contreras-López, E., Ramírez-Godínez, J., Castañeda-Ovando, A., Morales-Estrada, A. I., Felix-Reyes, N., & González-Olivares, L. G. (2020). *Lactobacillus pentosus* ABHEAU-05: An in vitro digestion resistant lactic acid bacterium isolated from a traditional fermented Mexican beverage. *Revista Argentina de microbiología*, 52(4), 305-314. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2019.10.005>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2017). *Perspectivas mundiales de las principales frutas tropicales*. [http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM\\_MARKETS\\_MONITORING/Tropical\\_Fruits/Documents/Tropical\\_Fruits\\_Spanish2017.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Tropical_Fruits/Documents/Tropical_Fruits_Spanish2017.pdf)
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2018). *Las principales frutas tropicales. Análisis de mercado*. <http://www.fao.org/3/ca5692es/CA5692ES.pdf>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2019). *Análisis del mercado de las principales frutas tropicales*. <http://www.fao.org/3/cb0834es/cb0834es.pdf>
- Gonzales, X. (14 de agosto de 2019). Agronegocios. Obtenido de <https://www.agronegocios.co/agricultura/la-produccion-de-pina-en-colombia-llegara-a-118-millones-de-toneladas-al-finalizar-el-ano-2895397>
- Ketnawa, S., Chaiwut, P. y Rawdkuen, S. (2012). Residuos de piña: una fuente potencial de extracción de bromelina. *Procesamiento de alimentos y bioproductos*, 90, 385-391. doi: 10.1016/j.fbp.2011.12.006
- Kuan, Y. H., & Liong, M. T. (2008). Chemical and physicochemical characterization of agrowaste fibrous materials and residues. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(19), 9252-9257. <https://doi.org/10.1021/jf802011j>
- Micanquer-Carlosama, A., Cortés-Rodríguez, M., & Serna-Cock, L. (2020). Formulation of a fermentation substrate from pineapple and sacha inchi wastes to grow *Weissella cibaria*. *Heliyon*, 6(4), e03790. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03790>
- Ngowénam, J., Kenfack, C., Kouam, M., Kaktchman, P., Maharjan, R., Ngoufack, F. (2021) Lactic acid production ability of *Lactobacillus* sp. From four tropical fruits using their by-products as carbon source. *Heliyon*, 7 (5). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07079>
- Nguyen, B. T., Bujna, E., Fekete, N., Tran, A. T. M., Rezessy-Szabo, J. M., Prasad, R., & Nguyen, Q. D. (2019). Probiotic Beverage From Pineapple Juice Fermented With

- Lactobacillus and Bifidobacterium Strains. *Frontiers in Nutrition*, 6, 1. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00054>
- Oliveira, R., Komesu, A., Rossell, C.E., & Filho, R.M. (2018). Challenges and opportunities in lactic acid bioprocess design—From economic to production aspects. *Biochemical Engineering Journal*, 133, 219-239.
- Pariona, A. (2018, 19 abril). *Top Pineapple Producing Countries*. WorldAtlas. <https://www.worldatlas.com/articles/top-pineapple-producing-countries.html>
- Romero, M. (2019). Plan de negocios de exportación de piña hacia Estados Unidos. Bogotá: Fundación Universitaria de América.
- Salcedo, J. M. (2016). *Piña (Ananas sp)* [Fotografía]. Repositorio Institucional de Documentación Científica Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/1520>
- Vargas, A. (2016). *Estudio técnico para la valorización de residuos sólidos orgánicos vegetales provenientes de la Plaza de Mercado San Francisco de Bucaramanga*. Bucaramanga: Universidad Santo Tomás, seccional Bucaramanga.
- Torre Pascual, I. (2019). Producción biotecnológica de ácido D-Láctico a partir de residuos de naranja. *Universidad Complutense de Madrid*, 1 - 219.
- Tenea, G. N., Olmedo, D., & Ortega, C. (2020). Peptide-Based Formulation from Lactic Acid Bacteria Impairs the Pathogen Growth in Ananas Comosus (Pineapple). *Coatings*, 10(5), 457. <https://doi.org/10.3390/coatings10050457>
- Vijayakumar, J., Aravindan, R. y Viruthagiri, T. (2008). Recent trends in the production, purification and application of lactic acid. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 22(2), 245-264
- Ying, S., Lasekan, O., Naidu, K., & Lasekan, S. (2012). Headspace Solid-Phase Microextraction Gas Chromatography-Mass Spectrometry and Gas Chromatography-Olfactometry Analysis of Volatile Compounds in Pineapple Breads. *Molecules*, 17(12), 13795-13812. <https://doi.org/10.3390/molecules171213795>



# Mordeduras de serpientes en un área de explotación minera. Cesar, Colombia. 2017-2019

## Snake Bites in a Mining Area, Cesar, Colombia. 2017-2019

Recibido: 04 de septiembre de 2020. Recibido en revisión: 05 de octubre de 2020.

Aceptado: 13 de noviembre de 2020.

DOI : <https://doi.org/10.33132/27114260.1906>

Muegues Angel Alexis<sup>2</sup>, Redondo Guerra Jessany<sup>2</sup>

### Resumen

El área de explotación carbonífera en el departamento del Cesar se extiende por cinco municipios, genera cerca de 5100 empleos y vincula 4000 contratistas. La colonización de áreas boscosas con fines de explotación incrementa los casos de mordeduras por serpientes venenosas; el objetivo de esta investigación fue analizar las características epidemiológicas de los accidentes ofídicos reportados al Instituto Nacional de Salud entre 2017 y 2019, provenientes del área de explotación. Resultados: en 54% de los casos la serpiente murió o fue capturada; las mordeduras se localizaron principalmente en miembros inferiores (74%) y el tratamiento inmediato consistió en la aplicación de un torniquete compresivo (36%). La mayoría de los accidentes ocurrieron en Agustín Codazzi (36%) por las serpientes *Bothrops asper* (P: 0.00006), *Porthidium nasutum* (P: 0.00001) y *Crotalus durissus* (P: 0.0005). Conclusiones: la mordedura de serpiente es un problema de salud pública y requiere la instauración de protocolos de manejo inmediato incluyendo primeros auxilios; las serpientes necesitan ser protegidas por su beneficio a los ecosistemas y el equilibrio medio ambiental.

**Palabras claves:** Colombia; ecosistemas; minería; serpientes; toxinas.

---

<sup>2</sup> Facultad de Medicina, Fundación Universitaria del Área Andina, Valledupar, Colombia. [amuegues@areandina.edu.co](mailto:amuegues@areandina.edu.co) / <https://orcid.org/0000-0002-0836-9262>/CvLAC: 0001688944, [jessanyr@gmail.com](mailto:jessanyr@gmail.com) / <https://orcid.org/0000-0002-7941-3873> /CvLAC: 0001766449

## Abstract

The coal mining area in the Cesar department spans five municipalities, creates about 5,100 jobs, and engages 4,000 contractors. The colonization of forested areas for exploitation favors an increase in bites by poisonous snakes; this research intends to analyze the epidemiological characteristics of the ophidian accidents reported to the National Institute of Health between 2017 and 2019 by the mining area. Results. In 54% of the cases, the snake died or was captured; the bites were mainly located on the lower limbs (74%), and immediate treatment consisted of applying tourniquet compression (36%). Most accidents occurred in Agustín Codazzi (36%), involving the snakes *Bothrops asper* ( $P = 0.00006$ ), *Porthidium nasutum* ( $P = 0.00001$ ), and *Crotalus durissus* ( $P = 0.0005$ ). Conclusions. Snake bites are a public health problem and require immediate management protocols, including first aid. Besides, snakes need to be protected, as they benefit ecosystems and environmental balance.

**Keywords:** Colombia; ecosystems; mining; snakes; toxins.

## Introducción

Las serpientes son animales ectotérmicos, cuerpo alargado y no tienen extremidades; en Colombia, se distinguen alrededor de 300 especies, lo cual coloca al país entre los diez primeros con mayor cantidad de ofidios (1). Su popularidad se debe a que muchas tienen potencial tóxico, al elaborar cantidades considerables de toxinas, una mezcla de enzimas y proteínas que son peligrosas para los mamíferos (1, 2). Estas toxinas son inoculadas a través de un complejo aparato formado por glándulas productoras y colmillos huecos, desarrollados evolutivamente para cazar a sus presas

(pequeños roedores, reptiles, aves etc.) pero que también representan peligro para los seres humanos que entran en su hábitat y destruyen sus ecosistemas (2). Cesar es un departamento ubicado en el norte del país con una topografía variada conformada por extensas planicies, zonas boscosas y elevaciones montañosas, siendo todas estas áreas adecuadas para la reproducción de las serpientes. Esta investigación centró su interés en un área de explotación minera de carbón que incluye cinco municipios a saber (Agustín Codazzi, Becerril, Chiruguaná, El Paso y La jagua de Ibirico), debido a que constituye una de las mayores áreas mineras del país, alberga más de cinco

mil trabajadores formalizados y su área de influencia comprende vastas extensiones de tierra donde son frecuentes los avistamientos de estos animales (3). Los objetivos de este estudio consistieron en calcular la frecuencia de los eventos, las características sociodemográficas de las víctimas, la georreferenciación de los animales y sumar información vital para la conservación de las diferentes especies de ofidios como eslabón fundamental de la cadena alimenticia y el equilibrio medio ambiental.

## Metodología

La aplicación de este diseño de investigación requirió la consulta de la base de datos de los accidentes ofídicos del departamento del Cesar, período 2017–2019, ubicada en la Secretaría de Salud Departamental. Esta fuente de información secundaria recabó datos con ayuda de la ficha para notificación obligatoria número 100 del Ministerio de Salud y la Protección Social. La ficha es diligenciada por médicos tratantes en instituciones de salud de los municipios que conforman el corredor minero y reportada semanalmente al Sistema de Vigilancia Epidemiológica - SIVIGILA. La población estuvo constituida por 278 casos que fueron analizados mediante el programa estadístico Epi-Infor 7, con parámetro de significancia estadística  $P <$

0,05. Epi-Info 7, con el parámetro de significancia estadística  $P < 0.05$  (20).

La planeación y ejecución de esta investigación, así como el análisis de la información requirieron una meticulosa revisión ética; acudiendo a las máximas: Ley 911 de 2004 (4), la Resolución 008430, la Resolución 002378 del Ministerio de Salud y la Protección Social (5) y el protocolo de Helsinki (6). Se estableció como de bajo riesgo por no incurrir en lesión física, ni atentados contra la moral o el buen nombre de los individuos víctimas de accidentes ofídicos.

## Resultados

Se mostrarán los resultados partiendo de las variables sociodemográficas; luego, las serpientes más comunes —su georreferenciación—, la atención pre-médica recibida y finalmente gravedad de los accidentes. El total de pacientes mordidos en el período de estudio fue 278, distribuidos así: 95 en 2017, 88 en 2018 y 95 en 2019. La tasa de incidencia por 100.000 habitantes fue de 4.7 en 2017, 4.5 en 2018 y 4.6 en 2019. El perfil de las víctimas incluye, principalmente, hombres con rango de edad entre 18 y 50 años, de pertenencia étnica mestiza. Una discriminación de las variables sociodemográficas contempladas se resume en la tabla 1.

Tabla 1. Variables sociodemográficas.

Variable	Categoría	2017	2018	2019
Edad	< 18 años	36 %	32 %	29 %
	19-50 años	<b>48 %</b>	<b>54 %</b>	<b>49 %</b>
	51-65 años	13%	8 %	15 %
	> 66 años	3 %	6 %	7 %
Género	Masculino	<b>70 %</b>	<b>80 %</b>	<b>76 %</b>
	Femenino	30%	20 %	24 %
Etnia	Indígena	14 %	7 %	11 %
	Afrocolombiano	18 %	15 %	27 %
	Gitano	1 %	0	0
	Mestizo	<b>67 %</b>	<b>78 %</b>	<b>62 %</b>
Área de ocurrencia	Cabecera municipal	34 %	40 %	28 %
	Rural disperso	<b>44 %</b>	<b>41 %</b>	<b>48 %</b>
	Centro poblado	22 %	19 %	24 %

Fuente: elaboración propia.

Las serpientes causantes de las mordeduras corresponden al género *Bothrops* spp (72 %), seguidas de *Crotalus* spp (3 %) y *Micrurus* spp (1 %); el 24 % restante no hizo avistamiento del animal dificultando su identifica-

ción. Los nombres comunes de estas serpientes se encuentran en la tabla 2. Adicionalmente, se encontró que las serpientes fueron capturadas o sacrificadas en 54 % de los casos.

Tabla 2. Nombres comunes de las serpientes

Nombre	Taxonomía	Eventos	%	Toxina
Bocadorada	<i>Bothrops asper</i>	78	28	Hemotóxico y citotóxico
Mapaná	<i>Bothrops atrox</i>	85	30	
Patoco/Patoquilla	<i>Porthidium nasutum</i>	33	12	
Venticuatro	<i>Bothrops atrox</i>	3	1	Neurotóxico, hemotóxico y miotóxico
Cascabel	<i>Crotalus durissus</i>	9	3	
Rabo de aji	<i>Micrurus</i> spp	3	1	Neurotóxico
Sin identificar	---	67	24	

Fuente: elaboración propia.

El municipio más afectado es Agustín Codazzi con 99 casos (36 %), seguido de La Jagua de Ibirico con 74 casos (27 %). La tabla 3 muestra el número de eventos en cada uno de los municipios clasificándolos por año.

El cruce de variables “tipo de serpiente” con “municipio de procedencia” demostró algunas diferencias estadísticas significativas: en Agustín Codazzi predominan las mordeduras por “Bocadorada” (P: 0.00006; OR: 2.8, IC: 1.7 - 4.8), “Patoco” (P: 0.00001; OR: 4.5, IC:

**Tabla 3. Accidentes ofídicos por municipio.**

Municipio	2017	2018	2019	TOTAL
Agustín Codazzi	49	31	19	<b>99</b>
Becerril	7	14	15	36
Chiriguana	4	15	13	32
El Paso	16	9	12	37
La Jagua de Ibirico	19	19	36	74
TOTAL	95	88	95	278

Fuente: elaboración propia.

2.2 - 9.3) y “Cascabel” (P: 0.0005; OR: 7.3, IC: 1.9 - 27). El resumen completo de los resultados se ubica en la tabla 4.

**Tabla 4. Análisis de las mordeduras según el lugar de procedencia**

Municipio		Bocadorada ( <i>Bothrops asper</i> )				
		Si	No	P	X <sup>2</sup>	OR (IC 95%)
Agustín Codazzi	Si	47	52	<b>0.00006</b>	<b>14.96</b>	<b>2.8 (1.7 - 4.8)</b>
	No	43	136			
Becerril	Si	3	33	0.0009	9.69	0.16 (0.04 - 0.5)
	No	87	155			
Chiriguana	Si	5	27	0.031	3.80	0.35 (0.1 - 0.4)
	No	85	161			
El Paso	Si	12	25	0.86	0.02	1.06 (0.5 - 2.2)
	No	78	173			
La jagua de Ibirico	Si	23	51	0.78	0.07	0.92 (0.5 - 1.6)
	No	67	137			
		Mapaná ( <i>Bothrops atrox</i> )				
		Si	No	P	X <sup>2</sup>	OR (IC 95%)
Agustín Codazzi	Si	16	83	0.001	10.77	0.36 (0.19 - 0.67)
	No	62	117			
Becerril	Si	22	14	<b>0.000002</b>	<b>22.38</b>	<b>5.2 (2.5 - 11)</b>
	No	56	186			

(Continúa)

		<b>Mapaná (<i>Bothrops atrox</i>)</b>				
		<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>P</b>	<b>X<sup>2</sup></b>	<b>OR (IC 95%)</b>
<b>Chiriguana</b>	<b>Si</b>	10	22	0.67	0.18	1.18 (0.5 - 2.6)
	<b>No</b>	68	178			
<b>El Paso</b>	<b>Si</b>	12	25	0.52	0.40	1.2 (0.6 - 2.7)
	<b>No</b>	66	175			
<b>La jagua de Ibirico</b>	<b>Si</b>	19	55	0.59	0.28	0.85 (0.46 - 1.5)
	<b>No</b>	59	145			

		<b>Patoco / Patoquilla (<i>Porthidium nasutum</i>)</b>				
		<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>P</b>	<b>X<sup>2</sup></b>	<b>OR (IC 95%)</b>
<b>Agustín Codazzi</b>	<b>Si</b>	26	73	0.00001	19.08	4.5 (2.2-9.3)
	<b>No</b>	13	166			
<b>Becerril</b>	<b>Si</b>	3	33	0.29	1.11	0.5 (0.15-1.8)
	<b>No</b>	36	206			
<b>Chiriguana</b>	<b>Si</b>	3	29	0.42	0.64	0.6 (0.17- 2)
	<b>No</b>	36	210			
<b>El Paso</b>	<b>Si</b>	0	37	0.008	6.96	0
	<b>No</b>	39	202			

		<b>Patoco / Patoquilla (<i>Porthidium nasutum</i>)</b>				
		<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>P</b>	<b>X<sup>2</sup></b>	<b>OR (IC 95%)</b>
<b>La jagua de Ibirico</b>	<b>Si</b>	8	66	0.35	0.86	0.7 (0.3 -1.5)
	<b>No</b>	31	173			

		<b>Cascabel (<i>Crotalus durissus</i>)</b>				
		<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>P</b>	<b>X<sup>2</sup></b>	<b>OR (IC 95%)</b>
<b>Agustín Codazzi</b>	<b>Si</b>	11	88	<b>0.0005</b>	<b>11.86</b>	<b>7.3 (1.9-27)</b>
	<b>No</b>	3	176			
<b>El Paso</b>	<b>Si</b>	3	34	0.36	0.84	1.84 (0.48-6.9)
	<b>No</b>	11	230			

Fuente: elaboración propia.

La georreferenciación de estas serpientes en virtud de la frecuencia de los accidentes ofídicos reportados y el valor

de P calculado en el grupo anterior, puede verse en la figura 1.

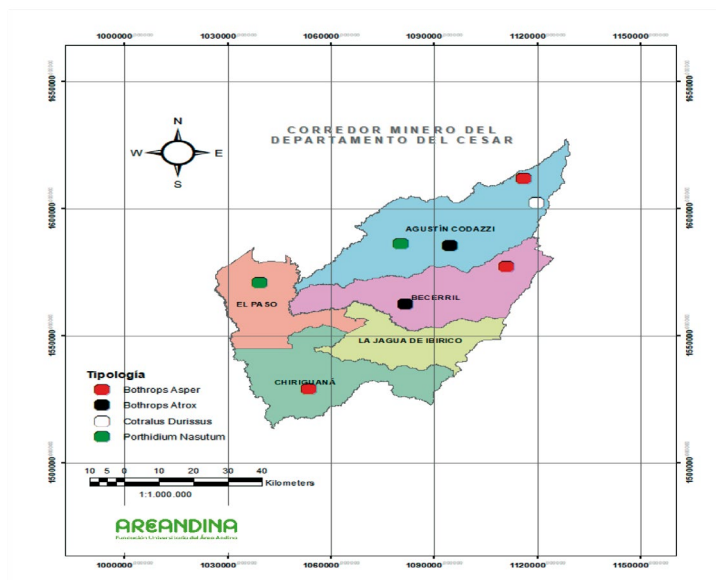


Figura 1. Georreferenciación de las serpientes causantes de accidentes ofídicos en el corredor minero del departamento del Cesar.

Fuente: Secretaría de Salud, (2017 -2019), Departamento del Cesar. Autor: elaboración propia.

Nota: Los puntos ubicados en el mapa corresponden a la localización de la fuente de datos disponibles en las fichas de notificación No 100 del INS que sirvieron de base para esa investigación, no se señaló La Jagua de Ibirico debido a no encontrar diferencias significativas para ninguna de las serpientes estudiadas.

Con respecto a la atención inicial, a 36 % de las mordeduras se les aplicó un torniquete; otras medidas incluyeron acciones no médicas

como emplastos de hierbas y remedios tradicionales. La tabla 5 muestra el resumen completo de los tipos de atención prehospitalaria recibida.

Tabla 5. Atención inicial recibida.

Acción	2017	2018	2019	Total	%
Torniquete	35	37	29	101	36%
Inmovilización del miembro	29	16	22	67	24%
Otro	14	14	10	38	14%
Inmovilización del paciente	3	5	11	19	7%

(Continúa)

Acción	2017	2018	2019	Total	%
Pócimas	5	6	6	17	6%
Emplastos de hierbas	4	4	5	13	5%
Punción	2	4	4	10	4%
Incisión	2	1	5	8	3%
Sangría	1	1	3	5	2%

Fuente: elaboración propia.

La clasificación final de los eventos evidenció que en 49 % de los casos se trató de accidentes leves; 42 % moderados, 5 % severos y no hubo envenenamiento en 4 %. Solo hubo dos muertes, equivalente a una letalidad de 0.7 %.

## Discusión

Los hallazgos sociodemográficos de esta investigación son similares al reporte de otros autores en diferentes áreas del país. El rango de edades demuestra que los accidentes ofídicos son más comunes desde el inicio de la adultez hasta la quinta década de vida (7, 8, 9, 10), ésta es la edad productiva y la de mayor vinculación laboral de los trabajadores formales e informales; los hombres siguen siendo el género más afectado en una relación 2:1 con respecto a las mujeres (7, 9, 11), lo cual, posiblemente se deba a que los varones desempeñan con más frecuencia actividades en el campo, son más espontáneos para explorar lugares con vegetación espesa o realizan activi-

dades de mayor riesgo que incluyen la manipulación de animales silvestres. No existe diferencia de pertenencia étnica en cuanto a la probabilidad de sufrir un accidente ofídico, como estableció Sevilla-Sánchez *et al.*, en el departamento de Nariño, donde las personas afrodescendientes son el grupo prevalente con 52 % de los casos (9).

Las actividades agrícolas siguen siendo las de mayor riesgo (8, 9, 13, 14). El área de ocurrencia en la mayoría de los casos es rural (7, 8, 13), no obstante, el número de eventos urbanos va en aumento, posiblemente asociado con desplazamiento de especies por el ingreso del hombre al hábitat de las serpientes, la disponibilidad de un número mayor de presas (animales de corral, ratas y ratones) en asentamientos humanos y fenómenos como el calentamiento global que pueden afectar la alimentación, reproducción y crecimiento de estos animales (15). Actividades como la minería y específicamente la explotación del carbón



a cielo abierto pueden cambiar algunas condiciones medioambientales como la sensación térmica, depósito de minerales y material de arrastre en fuentes de agua, deforestación de amplias extensiones de bosques, entre otras; todas estas condiciones potenciarían la migración y desaparición de especies alterando los ecosistemas (16, 17).

El género de serpientes predominante es el *Bothrops*, como lo demuestran todos los estudios consultados en el ámbito nacional (7, 8, 9, 10) y en otros países de la región que comparten condiciones climáticas, topográficas y socioculturales (12, 13, 14). Las especies *B. asper* y *B. atrox* son predominantes en Colombia, pero su área de influencia se extiende desde América Central hasta Ecuador, por debajo de los 2000 msnm (12, 13, 19). Los miembros superiores e inferiores son las áreas más afectadas, generalmente, las víctimas no utilizan calzado de corte alto ni emplean guantes de cuero, siendo las manos y los pies susceptibles de mordeduras; esta misma condición, favorece el uso de medidas compresivas como torniquetes pese a que son ampliamente desaconsejados por la comunidad científica (8,10).

Afortunadamente, la mayoría de los eventos se clasificaron como leves o

moderados (7, 9, 10, 12) con una letalidad inferior a 1 % (7, 9, 14), esto último posiblemente debido al uso de antídoto y la oportunidad de recibir atención médica. El avistamiento de los ofidios y el contacto con los humanos lleva a la captura o muerte de los ofidios en un porcentaje variable, que en la literatura se encuentra entre 20–40 % (9, 10, 11) y en nuestra investigación fue notablemente mayor (54 %); esto último pone en peligro la supervivencia de las diferentes especies y los ecosistemas en los cuales participan.

## Conclusiones

Las mordeduras de serpientes son frecuentes en el área de explotación carbonífera del departamento del Cesar, siendo el género *Bothrops* spp la más común, principalmente en los municipios de Agustín Codazzi y Becerril en donde se reportaron la mayoría de los eventos. Respecto al tratamiento, la investigación encontró existencia de una cultura ancestral para el uso de remedios naturales o empíricos, no obstante, estas opciones nunca superan la eficacia del suero antiofídico y pueden retrasar la oportunidad de atención médica. Finalmente, muchas serpientes son capturadas o sacrificadas alterando el equilibrio medio ambiental.

## Recomendaciones

A partir de esta investigación se deriva la imperiosa necesidad de capacitar a propios y extraños sobre identificación, conservación y respeto a la fauna silvestre de la región, incluyendo a las serpientes. Adicionalmente, se debe extremar la prevención primaria, por ejemplo, el uso obligatorio de botas y guantes de cuero mientras se realizan trabajos en áreas rurales. El suero antiofídico es la mejor estrategia para disminuir mortalidad; debería estar disponible en sitios de atención médica de concesiones mineras y hospitales de la región; finalmente, el uso de terapias empíricas como emplastos e infusiones herbales puede ser la base de nuevos proyectos de investigación con el objetivo de refinar principios activos eficaces útiles como terapia coadyuvante del suero antiofídico.

## Conflicto de intereses

Los investigadores manifiestan no tener conflicto de intereses.

## Referencias

Amador, C., Luna, J., & Puello, E. (2018). Comportamiento de la intoxicación moderada y severa por Ofidiotoxicosis Bothrópica en Córdoba - Colombia. *Rev. avances en salud*; 2(1): 7-15 Recuperado de: <https://>

[pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1087936](https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1087936)

Cano, M., & Popo, J. (2018). Formulación de una metodología para la Restauración Ecológica en ríos afectados por la minería de carbón. Caso de estudio río Lili, Cali. *Investigación Formativa en Ingeniería*. 2:69 –76. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/profile/Julio\\_Rivera\\_Rodriguez/publication/334576100\\_2018\\_Implementacion\\_de\\_una\\_estrategia\\_para\\_la\\_minimizacion\\_de\\_residuos\\_quimicos\\_INGENIO/links/5d320506299bf1995b397282/2018-Implementacion-de-una-estrategia-para-la-minimizacion-de-residuos-quimicos-INGENIO.pdf#page=69](https://www.researchgate.net/profile/Julio_Rivera_Rodriguez/publication/334576100_2018_Implementacion_de_una_estrategia_para_la_minimizacion_de_residuos_quimicos_INGENIO/links/5d320506299bf1995b397282/2018-Implementacion-de-una-estrategia-para-la-minimizacion-de-residuos-quimicos-INGENIO.pdf#page=69)

Congreso de la República de Colombia, (2004). Ley 911. Por la cual se dictan disposiciones en materia de responsabilidad deontológica para el ejercicio de la profesión de Enfermería en Colombia se establece el régimen disciplinario correspondiente y se dictan otras disposiciones. *Diario Oficial* 45; 693. Recuperado de: [https://www.mineduccion.gov.co/1621/articles-105034\\_archivo\\_pdf.pdf](https://www.mineduccion.gov.co/1621/articles-105034_archivo_pdf.pdf)

Doria, C., & Fagundo, J. (2017) Niveles de metales en partículas atmosféricas en la zona minera de carbón, Norte de Colombia. 14, (2): 110-121, Recuperado de: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-17982017000200110&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-17982017000200110&lng=en&nrm=iso). access on 17 May 2020. <http://dx.doi.org/10.15332/iteckne.v14i2.1765>.

Estrada, S., Quintana, J., & Varga, L. (2014). Accidente ofídico en animales de pastoreo: acercamiento epidemiológico, clínico y

- de manejo. *Rev. Med. Vet.*, Bogotá, n. 27, p. 149-161. Recuperado de: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-93542014000100013&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-93542014000100013&lng=en&nrm=iso)>. access on 16 May 2020.
- Epi Info™ (2020). La herramienta esencial de software libre para la práctica de la salud pública. Centro para el control y la prevención de enfermedades (CDC). Recuperado de: [https://www.cdc.gov/epiinfo/esp/es\\_pc.html](https://www.cdc.gov/epiinfo/esp/es_pc.html)
- Guerra D. (2020). Perfil epidemiológico del accidente ofídico en las tierras bajas de Guatemala. *Rev. Ciencia, Tecnología y Salud.* 3(2):127. Recuperado de: <https://digi.usac.edu.gt/ojsrevistas/index.php/cytes/article/view/112/144>
- Guzmán, C., Villa, H., Calderón, A. (2020). Análisis epidemiológico y clínico de intoxicaciones agudas atendidas en Montevía, Colombia. *Revista médica Risaralda* 21(1): 17-21. Recuperado de: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-06672015000100005&lng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-06672015000100005&lng=en).
- Instituto Nacional de Salud. (2018). Boletín Epidemiológico Semanal: Semana epidemiológica 46. Recuperado de: <https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/BoletinEpidemiologico/2018%20Bolet%C3%ADn%20epidemiol%C3%B3gico%20semana%2046.pdf>
- Leguizamó, T. & Ruiz, S. (2020). Minería del Carbón: La nueva “joya” de la economía colombiana. *Boletín Semillas Ambientales.* 12(1):86 Recuperado de: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/view/13621/13966>
- Márquez, M., & Gómez, M. (2015). Ophidic accident in the department of Sucre, Colombia. *Nova* 13(24):39–46. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v13n24/v13n24a04.pdf>
- Mazzanti, M. (2011) Declaración de Helsinki, principios y valores bioéticos en juego en la investigación médica con seres humanos. *Rev Colomb Bioética.* 6(1):125-144.
- Ministerio de Salud - Colombia, (1993), Resolución 008430. Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. Recuperado de: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/RESOLUCION-8430-DE-1993.PDF>
- Montoya Domínguez, E. (2018). The extraction of coal in the center of Cesar, Colombia: notes for the understanding of the environmental conflict. *Rev. Gestión y Ambiente* 21(supl. 2), 62-73. Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/77836>
- Oscar, B., Ever, C., & Douglas, H. (2019). Thermobiology of *Bothrops asper* (Garman, 1883) in Colombia: ecophysiological tests. *Rev Inv Vet Perú.* 30(1):61–72. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i1.15673>
- Quintero, A., *et al.* (2015). Desenmascarando el veneno de la serpiente *Bothrops asper* de Panamá: aislamiento y caracterización de cuatro fosfolipasas A 2. Conference: XIII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología 2010. Recuperado de: <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.1.1133.9361>

- Sarmiento, K., Torres, I., Guerra, M., Ríos, C., Zapata, C., Suárez, F. (2018). Epidemiological characterization of ophidian accidents in a Colombian tertiary referral hospital. Retrospective study 2004-2014. *Rev.fac.med.* 66 (2): 153-158. Recuperado de: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-00112018000200153&lng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-00112018000200153&lng=en). <http://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v66n2.61335>
- Sevilla, M., Mora, D., Calderón, J., Guerrero, J., & Ayerbe, S. (2019). Accidente ofídico en el departamento de Nariño, Colombia: análisis retrospectivo, 2008-2017. *Biomédica.* 39(4): 715-736. Recuperado de: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-41572019000400715&lng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-41572019000400715&lng=en). <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.4830>
- Vélez, L. (2019). Caracterización del accidente por mordedura de serpiente, atendidos en Unidades de Salud, Zona 5, Ecuador. *Revista científica digital INSPILIP.* Recuperado de: <https://www.inspilip.gob.ec/wp-content/uploads/2019/02/7-accidentes.pdf>
- Vera, M., Ríos, C. (2018). Características clínicas y epidemiológicas de los accidentes ofídicos de un hospital regional de Paraguay, 2010 A 2016. *Rev. Inst. Med. Trop.* 13(2):21. Recuperado de: [http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1996-36962018000200021](http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1996-36962018000200021)

# Validación del coeficiente de rugosidad de Manning en un canal a flujo libre bajo condición de flujo uniforme

## Validating the Manning's Roughness Coefficient in a Free-flowing Channel under Steady Flow Conditions

Recibido: 06 de septiembre de 2020.

Recibido en revisión: 16 de octubre de 2020. Aceptado: 05 de noviembre de 2020

DOI: <https://doi.org/10.33132/27114260.1935>

Nicolás M. Solano<sup>3</sup>, Mónica V. Sandoval<sup>3</sup>, Jenifer D. Sánchez<sup>3</sup>, María A. Jones<sup>3</sup>

### Resumen

Los procedimientos de diseño de canales a flujo libre y uniforme frecuentemente implican considerar coeficientes de la literatura, obviando el hecho que estos podrían diferir al cambiar la zona de estudio. El objetivo de este trabajo se centró en establecer el coeficiente de rugosidad de un canal, usando ecuaciones de flujo uniforme y compararlos con la literatura. Para ello, se usó un canal revestido transportando un flujo de 0.04 m<sup>3</sup>/s con velocidades entre 0.33 m/s y 0.357 m/s. El cálculo de los coeficientes se realizó considerando un tramo unidimensional de 10.5 m de longitud y -0.4% en pendiente, efectuando mediciones cada 150 cm. Los coeficientes obtenidos mediante las ecuaciones de Bazin y Manning presentan correlación muestral estable de +0.052. El lecho estudiado presentó un coeficiente de rugosidad de Manning en promedio de 0.04, siendo mayor a los valores asumidos en la literatura normalmente para canales nuevos.

**Palabras clave:** Canales abiertos, coeficiente de rugosidad de Manning, flujo uniforme, HEC-RAS, hidráulica de canales.

---

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Santo Tomás, Bucaramanga. Grupo de Investigación en Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales – GINAM. [nicolas.solano@ustabuca.edu.co](mailto:nicolas.solano@ustabuca.edu.co), <https://orcid.org/0000-0001-8061-7518>, [monica.sandoval@ustabuca.edu.co](mailto:monica.sandoval@ustabuca.edu.co), <https://orcid.org/0000-0001-7216-0407>, [Jennifer.sanchez@ustabuca.edu.co](mailto:Jennifer.sanchez@ustabuca.edu.co), [maria.jones@ustabuca.edu.co](mailto:maria.jones@ustabuca.edu.co)

## Abstract

The procedures for designing free and uniform flow channels frequently imply considering coefficients from the literature, ignoring that these could differ when changing the study area. This paper establishes the roughness coefficient of a channel, using steady flow equations and comparing them with the literature. For this, a lined channel transporting a flow of  $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$  with velocities between  $0.33$  and  $0.357 \text{ m/s}$  was used. The coefficients were calculated considering a one-dimensional section of  $10.5 \text{ m}$  in length and  $-0.4\%$  in slope, making measurements every  $150 \text{ cm}$ . The coefficients obtained using Bazin's equation and the Manning formula show a stable sample correlation of  $+0.052$ . The studied bed had an average Manning's roughness coefficient of  $0.04$ , higher than the values usually assumed in the literature for new channels.

**Keywords:** Open channels, Manning's roughness coefficient, steady flow, HEC-RAS, channel hydraulics.

## Introducción

En la actualidad se evidencia mayor intensidad en los cambios que se dan en la dinámica atmosférica (Nied, 2014). Lo anterior puede llegar a desencadenar, entre otras cosas, prolongados períodos de desabastecimiento de agua. Ante esto, se recurre al diseño de soluciones hidráulicas que, con frecuencia, abarcan un componente de incertidumbre cubierta por criterios que se fundamentan en suposiciones teóricas. Tal es el caso de los coeficientes de rugosidad de Manning ( $n$ ) al momento de estimar la resistencia al flujo en diseños de canales hidráulicos a flujo uniforme.

Por lo anterior, se hace necesario que las estimaciones teóricas de resistencia al flujo se ajusten a las condiciones propias del problema que se quiere resolver, permitiendo un conocimiento del estado de los coeficientes de rugosidad de Manning presentes en cada canal, según sean las condiciones hidráulicas de funcionamiento para el flujo uniforme y las condiciones de uso y mantenimiento en las que se encuentre el canal.

Una estimación adecuada de las variables y parámetros que intervienen en los fenómenos hidráulicos resultará en períodos de vida útil más prolongados

y optimización en tiempo y recursos. En normativas nacionales, el artículo 22 de la resolución No. 0330 de 2017 del Ministerio De Vivienda, Ciudad Y Territorio, fundamenta el ejercicio del diseño hidráulico, y establece que deberán ser incluidos esquemas, cálculos y modelaciones necesarias para la definición de obras, precisando parámetros tales como diámetros, caudales, velocidades, pendientes, especificaciones de materiales y demás aspectos técnicos que permitan asegurar el desempeño adecuado de los sistemas.

Diferentes estudios se han realizado para la estimación de los coeficientes de rugosidad de Manning en la hidráulica. Es así como Paria (1995) presentó un conjunto de tres fórmulas prácticas, con una base racional para el diseño de canales sin revestir. La familia de fórmulas propuesta por el autor fue obtenida mediante la combinación de funciones de resistencia al flujo, transporte de sedimentos y estabilidad de las márgenes del canal.

Otro estudio orientado a rugosidades presentes en los materiales con que se diseñan y construyen canales, Pantaleón *et al.*, (2013) centraron su investigación en un revestimiento particular, en este caso el enchachado. Los autores

realizaron pruebas para diferentes valores de caudal, estimando los coeficientes de rugosidad de Manning en cada caso. De esta manera, concluyen, es necesario incorporar estimaciones de las condiciones de uso y mantenimiento del canal, a fin de obtener coeficientes para el diseño menos distantes de las condiciones de operación del canal. Los autores estimaron un valor de 0.025 en el coeficiente de rugosidad de Manning para el revestimiento estudiado.

Por otro lado, Li *et al.*, (2000) indican que el coeficiente de rugosidad de Manning es uno de los parámetros más importantes para estudiar el flujo del agua sobre el suelo. Sin embargo, manifiestan que no está muy bien establecida una forma de determinar dicho parámetro de rugosidad en superficies de irrigación. Los autores presentan un método para determinar el coeficiente de rugosidad basado en un modelo analítico para superficies de irrigación, resuelto a través de iteraciones numéricas, con las cuales obtuvieron resultados consistentes de rugosidad considerando distintos tipos de revestimiento del canal.

Así mismo, Gutiérrez (2009) presenta en su estudio resultados obtenidos mediante pruebas de laboratorio, al evaluar el comportamiento del flujo en un

canal hidráulico bajo distintos materiales de revestimiento tales como gravas, arenas y arcillas. Los valores que se obtuvieron para el coeficiente de rugosidad de Manning se mantuvieron cercanos a los expuestos en la literatura; a saber, 0.036 para gravas, entre 0.019 y 0.02 para arenas y entre 0.017 y 0.018 para arcillas. Adicionalmente, concluyen que pueden presentarse variaciones en dichos valores, producto de la erosión y la socavación en el canal, por lo cual, es importante relacionar estos factores a fin de obtener menos margen de error.

En este sentido, el objetivo de este trabajo fue conocer el estado del coeficiente de rugosidad de Manning a través de información primaria en un canal hidráulico revestido que conduce agua cruda, mediante fundamentos de flujo uniforme. De esta manera, se logró establecer el rango de velocidades las cuales, dependiendo de la capacidad de transporte simulada del canal, influyen en la resistencia al flujo, debido a fenómenos como desgaste y arrastre de material de revestimiento.

## **Materiales y métodos**

El estudio se realizó en un canal hidráulico localizado en El Limonal perteneciente a la Universidad Santo Tomás,

seccional Bucaramanga, el cual transporta agua cruda desde la parte alta del campus localizado en el municipio de Piedecuesta, parte baja de la Vereda El Granadillo, coordenadas  $7^{\circ} 00' 30.62''$  N y  $73^{\circ} 03' 05.20''$  O.

La geometría hidráulica es de sección compuesta, determinada por una sección triangular en el fondo que se extiende 41.5 cm horizontalmente a cada lado desde el centro del canal, y una sección rectangular que se eleva verticalmente 52 cm, incluyendo el borde libre. Esto genera un ancho promedio de 83 cm +/- 1 cm en la sección de flujo uniforme en la que se desarrolló el estudio, y una profundidad máxima del canal de 52 cm en promedio.

Para determinar las condiciones hidrodinámicas del canal se identificó un tramo donde la condición de flujo predominante fuera uniforme, según definición, es decir, la observación de una lámina de agua estable e invariante en toda la longitud en dirección al flujo y para cualquier instante de tiempo (Moglen, 2015).

Con el fin de conocer las cargas dinámicas y de arrastre por descarga, se realizaron mediciones de caudal mediante aforos en un total de diez estaciones distanciadas 1.5 m cada una y en dirección



del flujo aguas abajo. El equipo utilizado fue un micro molinete OTT (OTT HydroMet) con hélice No. 3, calibrado para procesar las velocidades de acuerdo con las revoluciones de la hélice en intervalos de 50 segundos. La técnica para los aforos se basó en el uso de dovelas, expresando la velocidad media para flujos permanentes y sin interrupciones como la registrada por el aforador de hélice medida al 60 % desde la superficie libre al fondo.

Se realizó inspección visual del estado del revestimiento del canal, identificando antigüedad, tipo de mantenimiento y los aspectos más relevantes del lecho. La construcción lleva en operación 10 años, aproximadamente (hasta la fecha del presente trabajo). Se le realiza bajo mantenimiento. En cuanto al revestimiento utilizado, se encontró mortero de bajo mantenimiento con alta exposición de bolo de río de tamaño mediano y no superior a tres pulgadas de tamaño nominal.

Una vez identificado lo anterior, se tomó un tramo de condiciones de flujo estable para generar cálculos de diferentes capacidades de descarga simuladas, estimando, además, las velocidades que generan arrastre y desgaste en el revestimiento del canal.

## Resultados y discusión

### Estimación de caudal y cálculo de los coeficientes de rugosidad

La sección de estudio en el canal del campus El Limonal presentó una longitud de desarrollo de flujo uniforme en un tramo de 10.5 m en total, evaluado mediante secciones de dovelas individuales distanciadas a 1.5 m, cada una. El tramo evaluado presentó una pendiente total de 4 mm por cada metro lineal, desplazando un flujo máximo de 0.04 m<sup>3</sup>/s.

Los resultados de las dovelas individuales permiten apreciar el desarrollo de la condición de flujo uniforme en la cual las variaciones de perímetro mojado y radio hidráulico son imperceptibles, según se aprecia en la tabla 1.

Para estimar el factor de resistencia al flujo se utilizó la ecuación de flujo uniforme (ecuación 1), propuesta por Antoine Chèzy (como se citó en Chow, 1994), donde  $V$  es la velocidad media,  $RH$  es el radio hidráulico,  $sf$  es la pendiente del fondo y  $C$  es el factor de resistencia en cuestión, que se resolvió con la solución propuesta por Manning (ecuación 2) y Bazin (ecuación 3). Así mismo, con las soluciones propuestas

por Manning y Bazin para dicho factor, y las velocidades registradas mediante el aforo realizado sobre las secciones, se

expresó en términos de los coeficientes de rugosidad.

**Tabla 1. Resumen de estaciones de la geometría hidráulica del canal estudiado.**

Sección	$\Delta X_i$ (m)	$P_i$ (m)	$R_{hi}$ (m)	$V_i$ (m/s)	$Q_i$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{prom}$ (m <sup>3</sup> /s)
8.0000	0.0000	1.0800	0.0963	0.3507	0.0365	
7.0000	1.5000	1.0680	0.0993	0.3553	0.0377	
6.0000	3.0000	1.0780	0.1030	0.3570	0.0396	
5.0000	4.5000	1.0800	0.1037	0.3500	0.0392	
4.0000	6.0000	1.0700	0.0953	0.3287	0.0335	0.0369
3.0000	7.5000	1.0850	0.1010	0.3410	0.0374	
2.0000	9.0000	1.0600	0.1015	0.3343	0.0360	
1.0000	10.5000	1.0700	0.1028	0.3253	0.0358	

Fuente: elaboración propia.

$$V = C\sqrt{RHS_f} \quad (1)$$

$$C = \frac{1}{n}RH^{1/6} \quad (2)$$

$$C = \frac{157.6}{1 + \frac{m}{\sqrt{RH}}} \quad (3)$$

Los cálculos permitieron identificar que el factor de resistencia al flujo del canal estudiado está determinado por un coeficiente de rugosidad de Manning en promedio de 0.0436. Esto evidencia —al compararse con los valores máximos para condiciones de operación similares propuestos por Chow (1994), los cuales no son superiores a 0.020— que es importante hacer un reajuste a las condiciones de operación del canal

para prolongar su vida útil ya que actualmente las cargas dinámicas generan erosión, desgaste y arrastre de sedimento, producto del desprendimiento del revestimiento.

### Consistencia de los coeficientes

Por otro lado, se encontró una adecuada consistencia en los cálculos obtenidos para el coeficiente de rugosidad de Manning al compararse con los coeficientes propuestos por Bazin, mediante las ecuaciones 2 y 3, respectivamente, las cuales, como se mencionó anteriormente, expresan el factor de resistencia al flujo en función del coeficiente de rugosidad ( $n$  o  $m$ ) y el radio hidráulico. La consistencia de los coeficientes de rugosidad adimen-

sionales se presenta en la figura 1. Allí también se evidencia el modelo de ajuste lineal, el cual muestra una correlación de los coeficientes con un  $R^2$  de 96.4%.

Por su parte, los coeficientes de variación para los coeficientes de Manning y Bazin fueron de 0.037 y 0.9859, respectivamente. La tabla 2 presenta el resumen de los datos estadísticos como descriptores de tendencia central.

Tabla 2. Resumen de la información descriptiva de tendencia central de los datos.

Descriptor de tendencia central	Bazin	Manning
Promedio	2.8663	0.0436
Varianza	7.9848	0.0000
Desviación	2.8257	0.0016
Coefficiente de Variación	0.9859	0.0370
Correlación muestral	0.0522	

Fuente: elaboración propia.

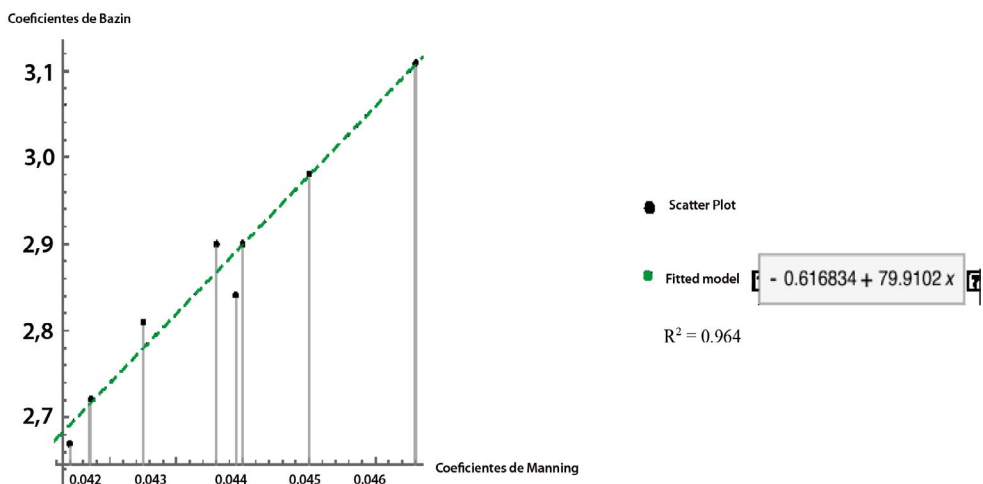


Figura 1. Correlación de los coeficientes de rugosidad de Manning y Bazin.

## Curva de descarga

Una vez se conoció la consistencia y el comportamiento del flujo en términos de su resistencia a fluir, se calcularon los caudales que pueden presentarse en el canal a medida que se modifica el área mojada de su sección transversal median-

te cambios en la profundidad, utilizando para ello el coeficiente de rugosidad de Manning promedio presentado en la tabla 2, y la ecuación de flujo uniforme (ecuación 1). La figura 2 presenta la curva de descarga obtenida, en la cual se puede apreciar que para una profundidad máxi-

ma de 0.5 m, la capacidad de descarga del canal es de 0.23 m<sup>3</sup>/s, aproximadamente. Es decir, se identifica en la curva las dife-

rentes descargas que pueden presentarse en función de su profundidad.

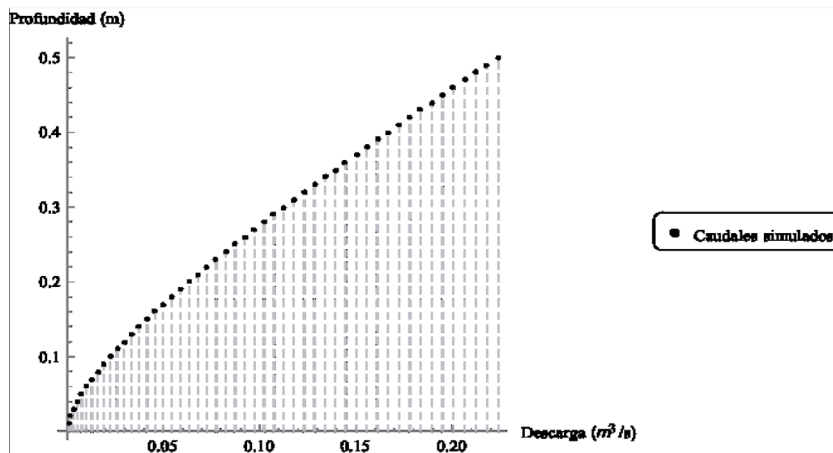


Figura 2. Curva de descarga obtenida para diferentes valores de profundidad. Fuente: elaboración propia.

### Curva de velocidades

Con el fin de minimizar la erosión y desgaste del revestimiento por las cargas dinámicas que pueden presentarse a causa de velocidades elevadas, la figura 3 presenta la curva de velocidades que se obtiene para cada valor de caudal en función de la profundidad que se presente en el canal. Esta información es útil para mantener el caudal regulado de manera que no se generen incrementos superiores a las velocidades de operación. La curva de velocidades se com-

porta de forma creciente a medida que la profundidad se incrementa, aunque estos en ningún momento superan los 0.6 m/s; concluyendo que hay una operación bajo condiciones subcríticas, teniendo en cuenta los caudales y las profundidades máximas que se pueden presentar en el canal.

Esta condición de régimen subcrítico con tendencia a estado crítico puede llegar a variar con la implementación de estructuras de ascenso y/o control en el canal, sin embargo, no se tuvieron en cuenta para el presente trabajo.

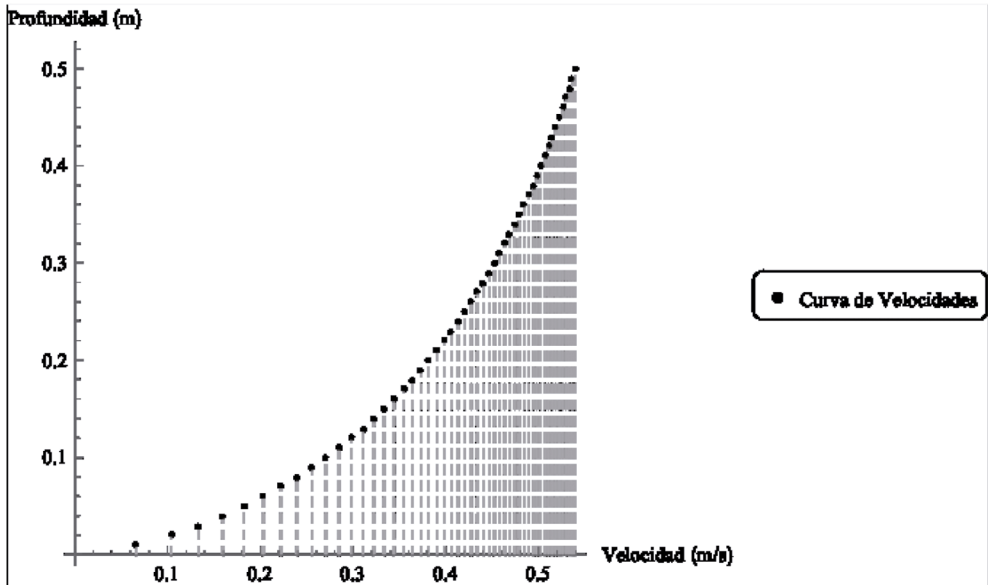


Figura 3. Curva de velocidades críticas en función de la profundidad.

Fuente: elaboración propia.

## Modelo HEC RAS

Finalmente, se hizo el ajuste del modelo hidráulico en el software HEC – RAS (*River Analysis System*), desarrollado por Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos, estableciendo la resistencia al flujo mediante el coeficiente de rugosidad de Manning calculado para el revestimiento del canal. El comportamiento del modelo se mostró consistente para las condiciones de flujo estudiadas al momento de realizar las mediciones para el presente trabajo, las cuales fueron ingresadas al *software*. La figura 4 representa una de las estaciones

aforada, en la cual se logran apreciar los niveles de profundidad crítica, nivel por debajo del cual el canal entraría en estado supercrítico a 7.5 cm, aproximadamente, por debajo del nivel de borde libre. Así mismo, se presenta la línea del nivel de energía máximo alcanzado en el canal, de acuerdo con la representación de la sección tipo de la figura; su valor es de 12.5 cm medidos desde el fondo del canal.

Por otro lado, en la figura 5, se muestra el tramo de flujo uniforme modelado, en el cual se pueden apreciar las secciones de aforo que se realizaron para el desarrollo del modelo y del presente trabajo.

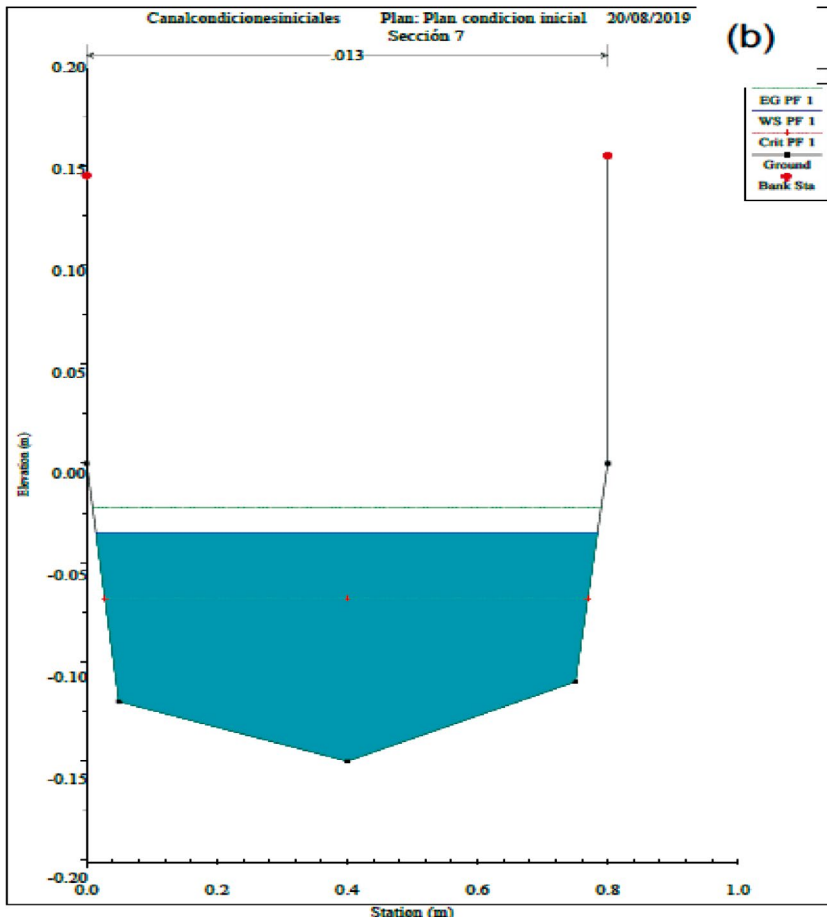


Figura 4. Estación de la sección transversal del canal en HEC – RAS.  
Fuente: elaboración propia.

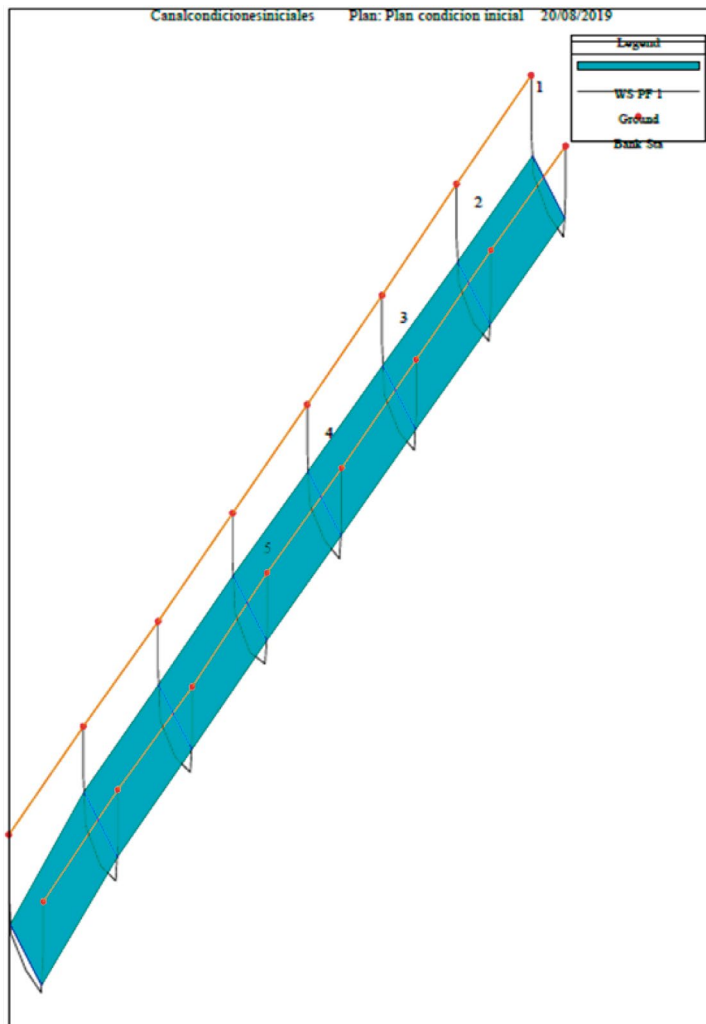


Figura 5. Lámina de agua del tramo de estudio en Flujo Uniforme con el software HEC – R  
Fuente: elaboración propia.

## Conclusiones

El presente trabajo determinó el coeficiente de rugosidad de Manning en un canal utilizado para transportar agua cruda en el campus agroindustrial de la Universidad Santo Tomás, seccional Bucaramanga. Los resultados mostraron que el tramo estudiado presenta un valor promedio de 0.0436, el cual es elevado con respecto a los valores de diseño usados para canales nuevos con revestimientos similares (entre 0.013 y 0.02).

Las velocidades calculadas mostraron que el régimen se mantiene en condición subcrítica. Estos valores fueron obtenidos a partir de la curva de descarga para un rango de profundidades hasta 0.5 m. Dicho régimen puede llegar a variar mediante estructuras de control o vertederos, sin embargo, esto no fue objeto de estudio en el trabajo.

El coeficiente de rugosidad de Manning que se obtuvo (0.0436) permitió evidenciar la necesidad de proporcionar una mejora al revestimiento del canal, en procura de prolongar su vida útil, minimizando la resistencia al flujo, la fricción, y la erosión de este por el transporte de agua cruda. La propuesta de mejora no se contempla dentro del alcance del trabajo presentado.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Santo Tomás, por la financiación realizada a través del proyecto de semilleros de investigación #01948273.

## Referencias

- Chow, V. T. (1994). Hidráulica de canales abiertos. Bogotá, Colombia. McGraw-Hill.
- Contreras, M. (1999). Apuntes de clase sobre flujo uniforme. Santiago de Chile, Chile. Universidad de Chile.
- Gutiérrez, J. D. (2009). Cálculo del Coeficiente de Rugosidad de Manning utilizando grava, arena, piedra pegada y tierra como fondo mediante un canal a escala como modelo físico. Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia.
- Li, Z.; Zhang, J. (2000). Calculation of Field Manning's Roughness Coefficient. Agricultural Water Management 49 (2001) 153-161. Beijing, China.
- Ministerio De Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable (2000). Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000. Bogotá, Colombia.
- Ministerio De Vivienda, Ciudad Y Territorio. (2017). Resolución 0330 del 8 de junio de 2017. Bogotá, Colombia.
- Moglen, G. E. (2015). Fundamentals of Open Channel Flow. CRC Press Taylor & Francis Group. Florida.



- Nied, M *et al.* (2014). On the relationship between hydro-meteorological patterns and flood types. *Journal of Hydrology* 519 (2014) 3249–3262
- Pantaleón, J.; Pérez, P.C.; Cordero, R.; Torres, A.; García, B. A.; Castillo, H. M.; Feliz, J. A.; Rivas, G. (2013). Determinación del coeficiente de rugosidad para enchado usado en el revestimiento de cunetas en la República Dominicana. *Ciencia y Sociedad*. Santo Domingo, República Dominicana.
- Paria, H.D. (1995). Fórmulas prácticas para el diseño de canales sin revestir en terrenos aluviales. *Ingeniería del Agua*. Vol. 2 Núm. 3 (septiembre 1995) p. 53. Argentina.
- Vatankhah, A. R. (2015). Analytical solution of gradually varied flow equation in circular channels using variable Manning coefficient. *Flow Measurement and Instrumentation* 43 (2015) 53–58. Tehran, Iran.

# Caracterización de materia prima utilizada para fabricación artesanal de unidades de mampostería en las ladrilleras El Cielo y Las Casitas, Valledupar – Colombia

## Characterizing Raw Material Used for Artisanal Production of Masonry Units in Brickyards El Cielo and Las Casitas, Valledupar, Colombia

Recibido: 04 de septiembre de 2020. Recibido en revisión: 13 de octubre de 2020.

Aceptado: 03 de noviembre de 2020.

DOI: <https://doi.org/10.33132/27114260.1908>

Galindo González, José C<sup>4</sup>; Crespo Guerra, María Teresa<sup>5</sup>; Mahecha Meza, Oscar Antonio<sup>6</sup>; Rivero Galvis, Naty Vanesa<sup>7</sup>; Orozco Ospino, Javier Enrique<sup>8</sup>; García-León, Ricardo Andrés<sup>9</sup>

### Resumen

Estudios conducidos en años recientes han concentrado su interés en incorporar materiales no convencionales para fabricar unidades de mampostería. Esto no ha sido

---

4 Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Fundación Universitaria del Área Andina, Valledupar, Colombia. Grupo de investigación e innovación en ingeniería civil (GINC), [jgalindo22@areandina.edu.co](mailto:jgalindo22@areandina.edu.co), <https://orcid.org/0000-0002-4810-0866>, [jaorozco@areandina.edu.co](mailto:jaorozco@areandina.edu.co), <https://orcid.org/0000-0002-4234-7630>

5. Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Programa Ingeniería Civil, Fundación Universitaria del Área Andina, Valledupar, Colombia. [mcrespo@estudiantes.areandina.edu.co](mailto:mcrespo@estudiantes.areandina.edu.co), [omahecha@estudiantes.areandina.edu.co](mailto:omahecha@estudiantes.areandina.edu.co), [nrivero4@areandina.edu.co](mailto:nrivero4@areandina.edu.co).

6 Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Programa Ingeniería Civil, Fundación Universitaria del Área Andina, Valledupar, Colombia. [mcrespo@estudiantes.areandina.edu.co](mailto:mcrespo@estudiantes.areandina.edu.co), [omahecha@estudiantes.areandina.edu.co](mailto:omahecha@estudiantes.areandina.edu.co), [nrivero4@areandina.edu.co](mailto:nrivero4@areandina.edu.co).

7 Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Programa Ingeniería Civil, Fundación Universitaria del Área Andina, Valledupar, Colombia. [mcrespo@estudiantes.areandina.edu.co](mailto:mcrespo@estudiantes.areandina.edu.co), [omahecha@estudiantes.areandina.edu.co](mailto:omahecha@estudiantes.areandina.edu.co), [nrivero4@areandina.edu.co](mailto:nrivero4@areandina.edu.co).

8 Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Fundación Universitaria del Área Andina, Valledupar, Colombia. Grupo de investigación e innovación en ingeniería civil (GINC), [jgalindo22@areandina.edu.co](mailto:jgalindo22@areandina.edu.co), <https://orcid.org/0000-0002-4810-0866>, [jaorozco@areandina.edu.co](mailto:jaorozco@areandina.edu.co), <https://orcid.org/0000-0002-4234-7630>

9 Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña, Colombia Grupo de investigación en ingenierías aplicadas para la innovación, gestión y desarrollo (INGAP), [ragarcial@ufpso.edu.co](mailto:ragarcial@ufpso.edu.co) <https://orcid.org/0000-0002-2734-1425>

óbice para continuar examinando materias primas tradicionales. El trabajo consistió en caracterizar dos materiales explotados para producción artesanal de unidades macizas de mampostería. Las ladrilleras se localizan al sur del área urbana de Valledupar, Colombia. Muestras representativas del material se tomaron de vetas explotadas por cada fabricante a los que se les practicaron ensayos que permitieron clasificarlos y determinar su composición química y mineralógica, al tiempo que se determinó la resistencia mecánica de productos terminados. Las composiciones granulométricas indican predominancia de limos en El Cielo y de arena en Las Casitas. Ambos materiales son aptos para fabricar ladrillos perforados en lugar de macizos. Los índices de plasticidad y límite plástico en ambos casos sustentan irregularidades observadas en aristas de unidades terminadas, denotando dificultad en desmoldado. La resistencia promedio a compresión obtenida de ladrillos terminados indica que no son aptos para mampostería.

**Palabras clave:** arcilla, ladrillo, mampostería, materiales de construcción.

## Abstract

Studies conducted in recent years have focused their interest on incorporating unconventional materials to manufacture masonry units, which has not been an obstacle to continue examining traditional raw materials. This paper is about characterizing two materials exploited for the artisanal production of solid masonry units. The brickyards are located south of the urban area of Valledupar, Colombia. Representative samples of the material were taken from veins exploited by each manufacturer, performing tests to classify them and determine their chemical and mineralogical composition while defining the mechanical resistance of finished products. The granulometric compositions indicate a predominance of silt in El Cielo and sand in Las Casitas; both materials are suitable for making perforated bricks rather than solid bricks. In both cases, the plasticity and plastic limit indices support irregularities observed in the edges of finished units, denoting difficulty in demolding. The average compressive strength obtained from finished bricks suggests that they are unsuitable for masonry.

**Keywords:** Clay, brick, masonry, building materials.

## Introducción

En los años recientes se han incrementado los planteamientos en diversos sectores que pretenden incorporar materiales no convencionales para la generación de productos utilizados en la industria de la construcción (Al-Fakih *et al.*, 2019; Ghavami, 2020; Phonphuak y Chindaprasirt, 2015). Muchos de esos nuevos materiales son subproductos derivados de los desechos que la sociedad de consumo genera luego de un primer uso (Al-Fakih *et al.*, 2019). Al tiempo que esto sucede, en muchos países en vía de desarrollo se siguen estudiando materias primas con las que se manufacturan a menor escala productos que cubren la demanda de materiales de construcción en mercados locales (Suffian *et al.*, 2020). Algunos trabajos de referencia dan cuenta de la necesidad de conocer aspectos y características de las arcillas con las que se producen los materiales cerámicos que abastecen la industria, proponiendo establecer aquellos cuya mayor relevancia son asociados con la calidad (Amado *et al.*, 2011; Flórez Arenas, 2016; García-León, Flórez Solano *et al.*, 2018; García León y Bolívar León, 2017).

El estudio busca conocer en detalle aspectos técnicos específicos de la ma-

teria prima empleada por dos ladrilleras, quienes la utilizan para manufactura de unidades macizas que se comercializan en el mercado local de materiales de construcción. Se obtuvieron muestras de los materiales que explota cada ladrillera y se realizaron ensayos para determinar su composición granulométrica, química y mineralógica, además de los límites de consistencia. Los resultados obtenidos muestran la aptitud de estos materiales para fabricar productos cerámicos.

## Materiales y metodología

Dentro del planteamiento descriptivo de este trabajo se realizó inspección de campo en los sitios donde cada productor desarrollaba la manufactura de ladrillos. Posteriormente se realizó una jornada de muestreo en la cual se obtuvieron tres (3) muestras representativas del material que utilizaba cada productor, dos para observación y una tercera para control. Las de El Cielo fueron rotuladas como EC1, EC2 y EC3. En el caso de Las Casitas fueron LK1, LK2 y LK3. Del material explotado en cada cantera se obtuvieron muestras inalteradas del suelo de 50 kilogramos cada una, aproximadamente. A estas muestras se les aplicaron los ensayos que se relacionan en la tabla 1. También se escogieron aleatoriamente cinco (5) muestras de

Tabla 1. Ensayos realizados.

PROPÓSITO	ENSAYO	NORMA
Obtención de muestras representativas para ensayos	Selección muestra para ensayos de granulometría por método de cuarteo manual y preparación muestras por vía seca	INV E - 202 - 13 ASTM C702/C702M - 11 INV E - 106 - 13 ASTM D421 - 85
	Análisis granulométrico por tamizado y por hidrómetro	INV E - 123 - 13, NTC 4630, ASTM D422 - 63
Composición y clasificación del material	Limite líquido, LL	INV E - 125 - 13, NTC 4630, ASTM D4318 - 17
	Limite plástico, LP	INV E - 126 - 13, NTC 4630, ASTM D4318 - 17
	Índice de plasticidad, IP	INV E - 126 - 13, NTC 4630, ASTM D4318 - 17
Caracterización química	Fluorescencia o espectrografía de rayos X	ASTM C323 - 56
Caracterización mineralógica	Difracción de rayos X	ASTM E975 - 13
Resistencia mecánica a especímenes terminados	Ensayo a compresión	NTC 4017, ASTM C67/C67M - 20, NTC 4205-2, ASTM C56 - 13

Fuente: elaboración propia.

ladrillos del último lote que disponía cada fabricante en el sitio, los cuales fueron producidos a partir del mismo material llevado al laboratorio.

Del proceso de cuarteo para las muestras de control (EC3 y LK3) se obtuvo una muestra representativa de cada cantera a las que se le realizaron las pruebas de espectrografía de rayos X (FRX) y de difracción de rayos X (DRX). Para la de FRX se utilizó el equipo S4 Explorer de Bruker, con detector Pro4, tubo de ensayo X Rh a un voltaje de 40 kV a 25 mA. Para la de DRX se utilizó el equipo D4 AXS de Bruker, con detector LY-NXEYE, Tubo de rayos-X Cu 1.9 Kw

( $K \alpha \lambda = 1.5406$ ) con filtro de níquel a 40KV 40mA, con un haz de electrones normales y ángulos de incidencia  $2\theta$ : 5 - 70° (montaje polvo), 5 - 35° (agregados orientados) y una velocidad de 0.4 s/ $\theta$ .

## Resultados y discusión

Los datos que se derivan de los ensayos practicados a las muestras se exponen a continuación.

*Análisis granulométrico* por tamizado. Se obtuvo la composición de la muestra de material cuya fracción queda retenida en el tamiz No. 10 (tamaños mayores a 2.0 milímetros). Los porcentajes que se retuvieron en dicho tamiz

para las muestras EC1, EC2 y EC3 fueron 0.0 %, 0.4 % y 0.3 %. En el caso de las muestras LK1, LK2 y LK3 fueron 2.8 %, 1.7 % y 0.5 %. La representación de curvas granulométrías de las muestras no son relevantes para el estudio dado que están conformados mayoritariamente por finos.

*Análisis granulométrico por método del hidrómetro.* Con este método se obtuvo la composición de la muestra cuya fracción pasa el tamiz No. 10 (tamaños menores a 2.0 milímetros). La siguiente relación muestra la composición, expresada como porcentaje, de arcilla, limo y arena obtenido para cada muestra.

En la composición obtenida para las muestras de El Cielo se observó predominancia de limo. En el caso de Las Casitas se observó predominancia de arena.

*Límites de consistencia.* La tabla 3 presenta los valores obtenidos de los límites de Atterberg de las muestras. Con estos se clasifica la muestra de suelo y se establece el grupo al que pertenece. En el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) la muestra de El Cielo arrojó dos limos y una arcilla de baja compresibilidad; en la de Las Casitas se obtuvieron arcillas limo arenosas.

**Tabla 2. Composición muestras fracción que pasa el tamiz No. 10.**

Productor	Muestra	Arcilla	Arena	Limo
		< 2 $\mu\text{m}$	2 a 20 $\mu\text{m}$	> 20 $\mu\text{m}$
		%		
El Cielo	EC1	21.16	17.20	61.64
	EC2	34.64	20.70	44.66
	EC3	24.85	35.60	39.55
Las Casitas	LK1	37.40	54.00	8.60
	LK2	26.00	55.50	18.50
	LK3	25.44	41.20	33.36

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Límites de consistencia muestras.

Productor	Muestra	Límite Líquido, LL	Límite Plástico, LP	Índice de Plasticidad, IP
		%		
El Cielo	EC1	30.9	23.4	7.51
	EC2	34.9	25.4	9.43
	EC3	31.0	21.4	9.60
Las Casitas	LK1	31.5	19.9	11.56
	LK2	22.0	15.5	4.51
	LK3	22.6	13.8	8.60

Fuente: Elaboración propia.

### Aptitud del material para fabricación de unidades de mampostería

Aplicando el tratamiento dado por algunos autores a los datos de composición de los finos se utiliza el *software* Triplop, con el cual se grafica en el diagrama de Winkler y se realiza, además, un análisis estadístico de primer orden para los datos graficados (García-León, Flórez Solano, *et al.*, 2018; García León y Bolívar León, 2017). Luego del procesamiento de datos y con el análisis precitado, se obtienen los siguientes resultados para las muestras de cada productor, las cuales se supone se ajustan a una distribución normal.

Derivado de la representación en el diagrama de Winkler para el caso de las texturas se obtuvo que las muestras de El Cielo fueron franca limosa, franca arcillosa y franca, para EC1, EC2 y EC3, respectivamente. Las observadas para las muestras de Las Casitas fueron arcilla arenosa, franca arcillosa arenosa y franca para LK1, LK2 y LK3, respectivamente. Los coeficientes de variación obtenidos para los componentes del material fino de las muestras analizadas dan cuenta de la naturaleza heterogénea del material de estudio, característica inherente de los suelos.

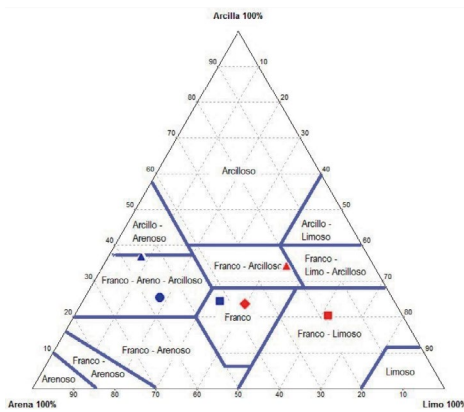
**Tabla 4. Resumen composición granulométrica por hidrómetro.**

	Muestras El Cielo			Muestras Las Casitas		
	Arcilla	Arena	Limo	Arcilla	Arena	Limo
Composición promedio (%)	26.88	24.50	48.62	29.61	50.23	20.15
Desviación estándar (%)	7.0	9.8	11.6	6.7	7.9	6.5
Coefficiente de variación (%)	25.9	39.9	23.8	22.8	15.6	61.8

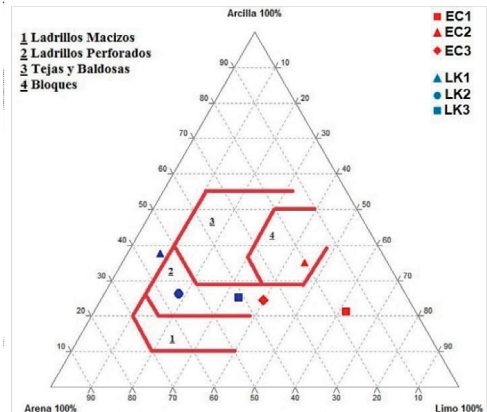
Fuente: elaboración propia.

Respecto a la capacidad del material para manufactura de unidades de mampostería, ambos materiales muestran una aptitud predominante para que se utilicen en la producción de unidades

perforadas. Los datos graficados en el diagrama de Winkler resultan de utilidad tal como lo han expuesto trabajos previos (García-León, Flórez Solano, *et al.*, 2018; Mendonça *et al.*, 2017), pues-



(a) Representación textura



(b) Representación aptitud para fabricar productos cerámicos

**Figura 1. Representación composición muestras en diagrama de Winkler.**

Fuente: elaboración propia.



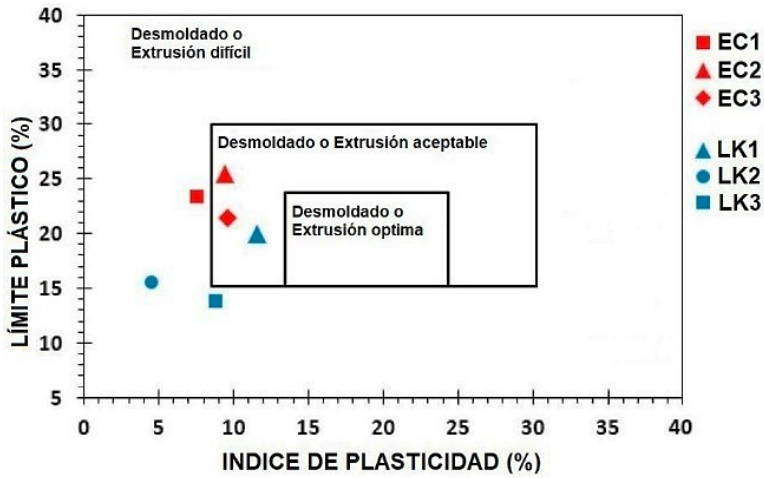
to que permiten determinar, a través de la dosificación de alguno de los componentes las cuantías, el material que debe adicionarse para mejorar la aptitud en la manufactura de alguno de los elementos indicados en la figura 1(b).

Otra particularidad que denota la aptitud del material para usarse en la manufactura de productos cerámicos se obtiene a través de los límites de consistencia. En este caso se graficaron en el diagrama de Casagrande IP y LP de las muestras. A partir de este arreglo se obtuvo la noción del grado de dificultad para desmoldar los especímenes en el momento de su producción. Asociado a esto, las irregularidades observadas en las aristas de unidades terminadas bien pudieron derivarse de un proceso de desmoldado entre difícil y aceptable, tal como se predice y evidencia en las figuras 2 (a) y 2 (b).

### Composición química

La composición obtenida mediante espectrografía de rayos X permitió determinar los componentes químicos presentes en la muestra de cada cantera. Se obtuvieron para las muestras can-

tería mayoritaria de óxidos de Silicio ( $\text{SiO}_2$ ), de Aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), de Hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y de Calcio ( $\text{CaO}$ ), en los siguientes porcentajes para la muestra de El Cielo —64.01 %, 15.98 %, 6.25% y 2.62 %, respectivamente—; y en la de Las Casitas —61.07 %, 16.69 %, 7.29 % y 2.50 %, respectivamente—. En los trabajos de Flórez Arenas (2016), Mahmoudi *et al.*, (2017) y García-León, Flórez-Solano, *et al.*, (2018) se reseña que los materiales se consideran aptos para manufactura de elementos cerámicos si en su composición se registra de 50 % a 60 % de óxido de silicio y entre 20 % a 30 % de óxido de aluminio. En este caso, se observó que los materiales de ambas canteras se encuentran por fuera de dichos rangos. En el mismo sentido Amado *et al.* (2011) plantean que composiciones de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  cercanas a 30% permiten elaborar ladrillos refractarios. Esto indica que, aunque se someten a un proceso de cocción, los especímenes producidos con el material de las muestras ensayadas no desarrollan resistencias mecánicas para clasificar en el apartado de productos conforme a las normas aplicables.



(a) Predicción desmoldado de muestras basados en los límites de consistencia



(b) Muestras posterior al desmoldado, antes del proceso de cocción

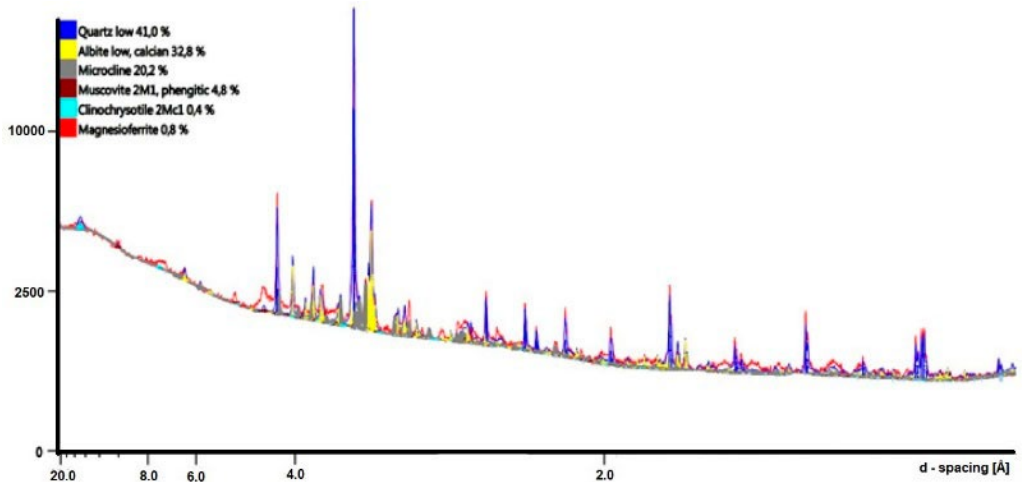
Figura 2. Aspectos relacionados con desmoldado o extrusión de muestras.

Fuente: elaboración propia.

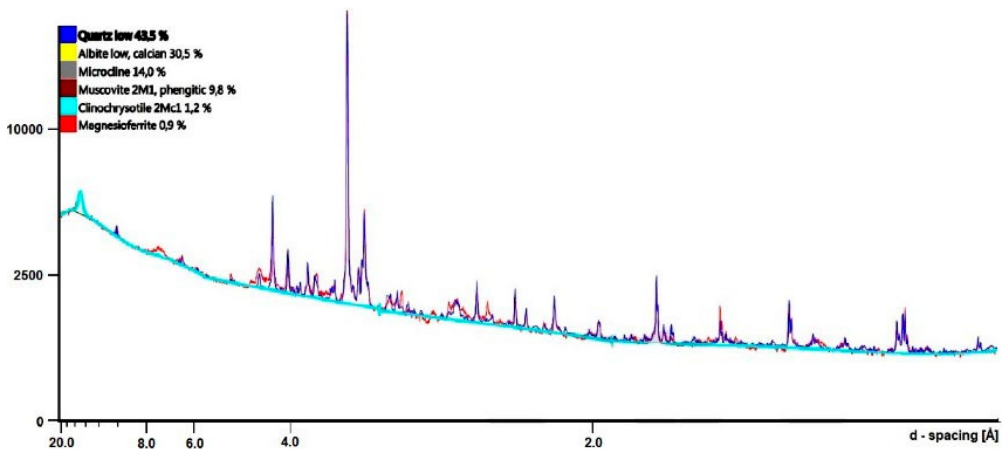
## Composición mineralógica

Las figuras 3(a) y 3(b) muestran difractogramas de las muestras a las que se les aplicaron este ensayo en particular. Para las fases cristalinas se observaron

mayoritariamente cuarzo libre, albita libre, microclina y muscovita, de las cuales se reportó en El Cielo 41.0 %, 32.8 %, 20.2 % y 4.8 % y 43.5 %, 30.5 %, 14.0 % y 9.8 %, respectivamente, en Las Casitas.



(a) Muestra EC3



(b) Muestra LK3

Figura 3. Difractograma de rayos X.  
Fuente: elaboración propia.

Los niveles de cuarzo observados indican la propiedad desgrasante del material, lo que evita que en el amasado se adquiriera una plasticidad excesiva de la mezcla disminuyendo la posibilidad de que ocurran contracciones y el subsecuente agrietamiento de esta durante el secado y la cocción. La presencia de feldespatos denotada por la albita y microclima indica que se puede fijar el color característico y homogéneo blanquecino a productos producidos con dichos materiales, además que actúa como fundente en la cocción. La moscovita en menor proporción denota mediana capacidad de resistir al proceso de cocción sin que se afecte la estabilidad dimensional de los especímenes. Algunas particularidades observadas en arcillas utilizadas para producción de elementos cerámicos han sido reportadas en prospecciones realizadas por varios autores (Amado *et al.*, 2011; Florez Arenas, 2016; García-León, Flórez-Solano, *et al.*, 2018; Mahmoudi *et al.*, 2017).

### **Ensayo a compresión unidades terminadas**

Registros de las cinco unidades ensayadas de cada productor se promediaron. Para el caso de El Cielo se obtuvo  $8.8 \pm 2.2$  MPa y para Las Casitas  $9.2 \pm 0.8$

MPa. Al comparar ambos resultados con lo establecido en la norma de referencia aplicable para unidades de mampostería no estructural, NTC 4205-2, ambas están por debajo del mínimo estandarizado de 14 MPa. Comparando estos datos con los de resistencia reportados en el trabajo de Cotes *et al.*, (2012), los del presente estudio denotan un incremento de resistencia alcanzada para las unidades de mampostería que se producen en la zona.

### **Conclusiones**

Con los datos de composición granulométrica se establecieron las características que indican la aptitud del material para producir unidades cerámicas diferentes a las que se producen actualmente por métodos artesanales. Los límites de consistencia permitieron predecir que el desmoldado en el proceso de elaboración de los especímenes puede tener incidencia en las irregularidades observadas en las aristas de unidades terminadas. Derivados de la composición química y mineralógica obtenidas en el reporte de las muestras ensayadas, se deducen aspectos de relevancia que son indicativos de la calidad del producto manufacturado por ambas ladrilleras. Es razonable concluir que los valores de las resistencias observadas de las unidades terminadas corroboran lo establecido en la literatura

de referencia, pues para que un material se denote como refractario requiere que se registren en su estructura química algunos compuestos específicos que en las muestras se detectaron en proporciones por fuera de los rangos indicados.

## Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos al ingeniero Alais Rojas Montero y al laboratorio de ensayos PENDING SAS por los recursos facilitados en la realización de este trabajo.

## Referencias

- Al-Fakih, A., Mohammed, B. S., Liew, M. S., & Nikbakht, E. (2019). Incorporation of waste materials in the manufacture of masonry bricks: An update review. *Journal of Building Engineering*, 21, 37–54. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.09.023>
- Amado, J. D. S., Villafrades, P. Y. M., & Tuta, E. M. C. (2011). Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander. *DYNA (Colombia)*, 78(167), 50–58. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25762/39346>
- ASTM D421 - 85 Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants, 2 (2007).
- ASTM D422 - 63 Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, 8 (2007).
- ASTM C702/C702M - 11 Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size, 5 (2011).
- ASTM E975 - 13 Standard Practice for X-Ray Determination of Retained Austenite in Steel with Near Random Crystallographic Orientation, 7 (2013).
- ASTM C323 - 56 Standard Test Methods for Chemical Analysis of Ceramic Whiteware Clays, 5 (2016).
- ASTM C56 - 13 Standard Specification for Structural Clay Nonloadbearing Tile, 3 (2017).
- ASTM D4318 - 17 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, 20 (2017).
- 1ASTM C67/C67M - 20 Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile, 17 (2020).
- Cotes, D., Núñez, D., & Sabogal, L. (2012). Determinación de la calidad de los ladrillos a partir de la estimación de la resistencia última en las canteras de Valencia de Jesús, Las Casitas y El Cielo, en el municipio de Valledupar, Cesar. *Revista Agunkuyâa*, 2(1), 32–41. <https://revia.areandina.edu.co/index.php/Cc/article/view/301>
- Florez Arenas, A. (2016). Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de ladrillos en la ladrillera Mariscal Robledo S.A. *Facultad de Tecnologías: Química Industrial, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia*. <http://hdl.handle.net/11059/6338>

- 1García-León, R. A., Flórez-Solano, E. N., & Acevedo-Peñalosa, C. H. (2018). Clay surface characteristics using atomic force microscopy. *Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia*, 87, 23–24. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.n87a04>
- García-León, R. A., Flórez Solano, E., & Rodríguez Castilla, M. (2018). Diseño de Mezclas para la Fabricación de Productos de Mampostería en la Industria Cerámica. *Revista Politécnica*, 14(26), 19–28. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v14n26a2>
- García León, R. A., & Bolívar León, R. (2017). Caracterización hidrométrica de las arcillas utilizadas en la fabricación de productos cerámicos en Ocaña, Norte de Santander. *INGE CUC*, 13(1), 53–60. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.13.1.2017.05>
- Ghavami, K. (2020). Introduction to nonconventional materials and an historic retrospective of the field. In *Nonconventional and Vernacular Construction Materials* (2nd ed., pp. 37–61). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102704-2.00002-0>
- Norma Técnica Colombiana NTC 4630 Método de ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos cohesivos, 21 (1999).
- Norma Técnica Colombiana NTC 4205-2 Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Parte 2: mampostería no estructural, 11 (2009).
- Norma Técnica Colombiana NTC 4017 Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla, 50 (2018).
- INV E - 106 - 13. Preparación en seco de muestras de suelo por vía seca para análisis granulométrico y determinación de las constantes físicas, Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras (2013).
- INV E - 123 - 13. Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos, Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras (2013).
- INV E - 125 - 13. Determinación del límite líquido de los suelos, Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras (2013).
- INV E - 126 - 13. Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos, Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras (2013).
- INV E - 202 - 13. Reducción de muestras de agregados por cuarteo, Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras (2013).
- Mahmoudi, S., Srasra, E., & Zargouni, F. (2017). Preparation, qualities and defects of ceramic materials from Tunisian clay

- minerals. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 53(3), 295–301. <https://doi.org/10.3103/S1068375517030103>
- Mendonça, G. C., Ferreira, C. C., Fonseca, J. M., & Quintana, L. H. (2017). Uso do diagrama de winkler para determinação da granulometria de uma argila in natura mais adições de cinzas residuais de carvão mineral. *Anais Do V Congresso Brasileiro de Carvão Mineral*. <https://doi.org/10.20906/cps/cbcm2017-0024>
- Phonphuak, N., & Chindaprasirt, P. (2015). Types of waste, properties, and durability of pore-forming waste-based fired masonry bricks. In *Eco-Efficient Masonry Bricks and Blocks* (pp. 103–127). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-305-8.00006-1>
- 28 Suffian, S., Dzombak, R., & Mehta, K. (2020). Future directions for nonconventional and vernacular material research and applications. In *Nonconventional and Vernacular Construction Materials* (2nd ed., pp. 63–80). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102704-2.00003-2>

# Análisis de gestión ambiental: manejo de residuos de construcción y demolición de obras en Valledupar

## Analysis of Environmental Management of Construction and Demolition Waste in Works in Valledupar

Recibido: 04 de septiembre de 2020. Recibido en revisión: 14 de octubre de 2020.

Aceptado: 30 de noviembre de 2020.

DOI : <https://doi.org/10.33132/27114260.1934>

Andrés Felipe Briceño Santiago, Karen Dayana Márquez Tinoco<sup>10</sup>

### Resumen

Los residuos de construcción y demolición —RCD— son flagelos que impactan directa e indirectamente localidades específicas; el grado de afectación estará relacionado con la eficiencia en gestión ambiental de estos materiales. Una condición necesaria para regular e implementar la buena práctica o gestión de dichos elementos es realizar un estudio preliminar sobre la generación de RCD en la zona. Esta revisión optó por utilizar un modelo de tipo descriptivo documental con el fin de analizar la gestión actual de RCD en Valledupar e identificar y caracterizar los actores involucrados y su aplicabilidad en el marco legal vigente. Además de la revisión bibliográfica se llevó a cabo un diagnóstico donde se evidencia que los resultados obtenidos en materia de gestión ambiental relacionados con RCD carecen de un sistema de manejo y control integral de residuos, sitios de disposición final, planta de tratamiento, adecuada aplicabilidad de la norma y desconocimiento en temas de reciclaje. Se recomienda trabajar interdisciplinariamente con la academia, entidades territoriales, sector constructor y entes de control para desarrollar planes de acciones sostenibles.

---

<sup>10</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Programa de Maestría en Gestión Ambiental, Fundación Universitaria del Área Andina, Valledupar, Colombia. [abriceno5@estudiantes.areandina.edu.co](mailto:abriceno5@estudiantes.areandina.edu.co), <https://orcid.org/0000-0002-4495-3730>, [kmarquez@estudiantes.areandina.edu.co](mailto:kmarquez@estudiantes.areandina.edu.co), <https://orcid.org/0000-0002-8332-198X>



**Palabras claves:** gestión ambiental, manejo de residuos, marco legal vigente, instrumentos de gestión, residuos de construcción y demolición.

## Abstract

Construction and demolition waste (CDW) is a scourge that directly and indirectly impacts a specific location; the degree of impact will be related to the efficiency of the environmental management of these materials. One of the necessary conditions to implement the good practice of regulating this waste is to conduct a preliminary study on the generation of CDW in the area. This review paper opted for a descriptive-documentary model to analyze the current management of CDW in Valledupar and identify and characterize the agents involved and their applicability in the current legal framework. In addition to the literature review, a diagnosis was made. The results for CDW environmental management reveal a lack of a waste management and control system, final disposal sites, and treatment plant, poor applicability of the regulation, and ignorance of recycling. Interdisciplinary efforts between academia, territorial entities, the construction sector, and controlling entities are advised to develop sustainable action plans.

**Keywords:** Construction and demolition waste; environmental management; waste management; current legal framework; management instruments.

## Introducción

La industria de la construcción ha sido pilar fundamental para el desarrollo de las sociedades a lo largo de la historia; responsable de la materialización de proyectos que han fortalecido la cultura y economía de las regiones. Sin embargo, los procesos de extracción de materiales o materias primas están asociados con modificación del uso del suelo, disminu-

ción de fuentes hídricas, deterioro de la calidad del aire y pérdida de biodiversidad. La generación de escombros es, entre otros, uno de los factores que más incide en el deterioro del medio ambiente.

En los últimos veinte años Colombia ha tenido un crecimiento representativo del sector construcción, cifra que ha aumentado alrededor de 3 % con respecto a 1991 (Departamento Nacional de Pla-

neación, 2017, p.1), resultado de la alta demanda de desarrollo de obras civiles tanto en grandes ciudades del país como en las que están en vía de desarrollo.

Los residuos de construcción y demolición son, actualmente, un problema que requiere urgente solución por parte de las entidades territoriales, dadas las dificultades que se presentan para el cumplimiento de la normativa, la adecuación de zonas de recolección, los mecanismos de reconexión de dichos residuos, entre otros. En esa perspectiva,

se han establecido una serie de normativas de carácter legal (tabla 1) que implican estricto cumplimiento por parte de los agentes de la construcción, es decir, constructoras, contratistas, personas naturales, etc.

En materia de gestión de residuos a nivel internacional “los países situados en la cabeza del reciclado de RCD, son Holanda con un 90 %, Dinamarca con un 81 % y Bélgica con un 87 %.” (Barroso, 2013, pág. 1). Este elevado porcentaje de reciclaje se debe, principalmente,

**Tabla 1. Normativas legales de RCD.**

Institución	Nombre de la norma	Descripción de la norma
Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.	Resolución 0472 del 28 de febrero de 2017	“Aplica a todas las personas naturales y jurídicas que generen, recolecten, transporten, almacenen, aprovechen y dispongan RCD de las obras civiles o de otras actividades conexas en el territorio nacional.” (MADS, 2017, pág. 1)
Congreso de la República de Colombia	Ley 1259 de 2008	Tiene como finalidad “implementar el comparendo ambiental como instrumento de cultura ciudadana, sobre el adecuado manejo de residuos sólidos y escombros, previendo la afectación del medio ambiente y la salud pública, mediante sanciones pedagógicas y económicas a personas naturales o jurídicas que infrinjan la normatividad.” (Congreso de la República de Colombia, 2008, pág. 1)
<b>Congreso de la República de Colombia</b>	Ley 1801 de 2016	Por la cual se expide el Código de Policía Nacional y Convivencia, el cual en el artículo 111, expone que “se sancionará a la persona que arroje basura, llantas, residuos o escombros en el espacio público o en bienes de carácter público o privado.” (Congreso de la República de Colombia, 2016, pág. 1)

**Fuente:** MADS, (2017), Resolución 0472. Congreso de la República de Colombia, (2008). Ley 1259. Congreso de la República de Colombia, (2016). Ley 1801. Elaboración propia.

a la escasez de materias primas para la obtención de áridos vírgenes y a la dificultad de encontrar emplazamientos para vertederos, unidas a otras medidas de carácter legal y económico. Según la Asociación Española de Reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición en su informe publicado en 2017, entre 2011 y 2015 “el 70 % de todos los RCD producidos en España acceden a instalaciones de gestores autorizados, y se ha reducido a un 30 % la producción incontrolada.” (Pág. 1) En efecto, el escalafón europeo lo lidera Holanda, Dinamarca, Bélgica y España.

Unos de los países latinoamericanos más avanzados en materia de RCD es México, según la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (2013), “el país produce 6 millones de toneladas anuales, pero a partir de agosto de 2013 los constructores están obligados a cumplir con la formulación de un PM-RCD conforme a la NOM-161-SEMAR-NAT-2011. Esta norma establece que los residuos de construcción se clasifican como Residuos de Manejo Especial, lo que obliga acciones para su reutilización y reciclaje, así como la disposición de los no aprovechados.” (Pág. 26) Por otro lado, en 2009, Chile “produjo 5.821.000 toneladas de RCD, cifra que corresponde al 34,4% de los residuos urbanos totales

del país.” (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2010, pág. 44.) En Argentina, Perú y Bolivia no se evidencian cifras oficiales por parte de las entidades gubernamentales.

Colombia ha venido incrementando el porcentaje de producción de RCD, especialmente en las ciudades principales —Bogotá, Medellín, Cali— y emergentes —Neiva, Valledupar, Pereira, entre otras—. Según datos oficiales, anualmente se generan 22.270.338 toneladas de material de escombros (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2011), cifra que resulta significativa a medida que avanza el tiempo, ya que presenta un comportamiento exponencial que influye directamente en la degradación del medio ambiente.

En Valledupar se ha presentado un alto índice de crecimiento urbanístico durante los últimos cuatro años; se han realizado importantes obras civiles como conjuntos residenciales, centros comerciales, edificios, remodelación del estadio y viviendas. Según Camacol (2019), “la mayor parte de la inversión se ha llevado a cabo en la construcción de 1.932 viviendas.” (Pág. 1) A partir de estas actividades se ha evidenciado un incremento de residuos de construcción y demolición en diferentes lugares de la

ciudad, ya que actualmente no se cuenta legalmente con un sitio de vertedero de RCD para darle manejo y control adecuado a estos materiales. Las constructoras en el sector muestran desinterés ante estos hechos y las repercusiones de este problema ambiental y social son altas. Estos desechos, por lo general, han sido depositados en vertederos de forma incontrolada, dejados a orillas de carreteras y ríos, ubicados en potreros —para correspondiente quema— o en lotes baldíos —para relleno en nuevas construcciones que lo requieran—.

Valledupar cuenta con un nuevo plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS), en el cual se identifican 13 programas para hacer frente a la gestión de residuos de la ciudad. Uno de ellos se titula Programa de gestión de RCD. En la actualidad, no se le da cumplimiento a dicho programa, debido a que hay una ausencia del prestador del servicio de recolección, transporte, y disposición final de los RCD. (Plan de desarrollo municipal, 2016-2019, pág. 184-187)

Por esta razón no existen datos exactos sobre la cantidad de RCD que se produce en el municipio de Valledupar; hay

carencia de conocimiento sobre su manejo, gestión y aprovechamiento, sumado a la falta de infraestructura, plantas de tratamiento y existencia de mercados poco avanzados para productos reciclados.

Este documento expone la situación actual del municipio de Valledupar en relación con los RCD y describe las deficiencias que presentan los procesos vigentes, en cuanto a manejo y gestión ambiental de este tipo de residuos, a partir del análisis de información proveniente de fuentes secundarias, instituciones, autoridades ambientales y territoriales, así como documentos que proveen datos y estrategias de caracterización de los actores involucrados y aplicabilidad del marco legal y normativo del caso en observación.

## **Metodología**

Para efectos del análisis de la revisión bibliográfica sobre la gestión ambiental, en la entidad territorial seleccionada, se tuvo en cuenta la implementación de un modelo de tipo descriptivo documental que consta de cuatro fases: obtención de información bibliográfica, identificación y caracterización de actores involucrados, instrumentos de gestión ambiental y análisis de resultados (figura 1).

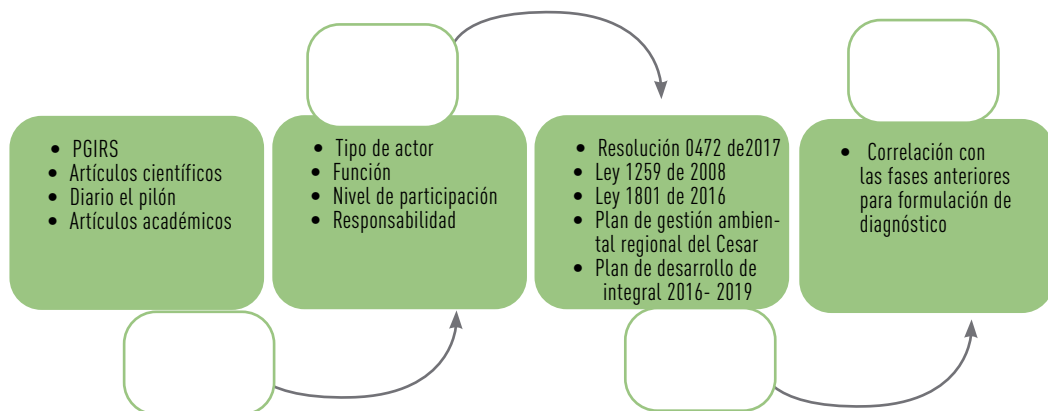


Figura 1. Fases metodológicas.  
Fuente: elaboración propia.

## Fase 1. Obtención de información bibliográfica

Se realizó revisión documental de la resolución 0472 de 2017, el plan de gestión ambiental regional y el plan de desarrollo municipal de Valledupar 2016-2019, entre otros, con el fin de obtener datos de referencia sobre el marco normativo a nivel nacional, regional y local en cuanto a manejo de RCD. Se validó la información a partir de criterios tales como: ventana de observación de los últimos cinco años, legislación vigente, porcentaje de relación sobre la temática y procedencia de la fuente (oficial, académica o de investigación). Una vez cumplidos los estándares mencionados, se pasó a la fase de identificación y caracterización de los actores involucrados.

## Fase 2. Identificación y caracterización de actores involucrados

Para desarrollar esta fase se implementó una herramienta cualitativa de identificación y caracterización de actores involucrados en el proceso de la gestión ambiental en el manejo de RCD (tabla 2), mecanismo fundamentado en la metodología propuesta por Ortiz, Matamoros y Psathakis (2016) que tiene como propósito definir los tipos de actores. Posteriormente, se estableció una serie de rangos descriptivos que sirven como base en la clasificación de la función que desempeña el agente, el nivel de participación que posee y la responsabilidad que presenta frente a la problemática, para proceder, finalmente, con la revisión de los instrumentos de gestión ambiental.

**Tabla 2. Herramienta cualitativa de identificación y caracterización de actores involucrados.**

Tipo de actor	Función	Nivel de participación	Responsabilidad
¿Cómo se definieron los tipos de actor?	¿Cómo se definió el tipo de función?	¿Cómo se define el tipo de participación?	¿Cómo se define la responsabilidad?
Se tuvo en cuenta la metodología desarrollada por Ortíz, Matamoros y Psathakis, (2016), Guía para confeccionar un mapeo de actores.	Se estableció según el tipo de actor, para ello se asignaron valores cualitativos, según el siguiente rango: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Administrativa</li> <li>• Vigilancia</li> <li>• Control</li> <li>• Participativa</li> <li>• Prestadora de servicio</li> </ul>	Se otorgó teniendo en cuenta la función, a la cual se asignaron valores cualitativos, según el siguiente rango: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy alto</li> <li>• Alto</li> <li>• Medio</li> <li>• Bajo</li> <li>• Muy bajo</li> </ul>	Se estableció según el tipo de participación que tiene, a la cual se asignaron valores cualitativos, según el siguiente rango: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta</li> <li>• Media</li> <li>• baja</li> </ul>

Fuente: Ortíz, Matamoros y Psathakis, (2016), Guía para confeccionar un mapeo de actores. Elaboración propia.

### Fase 3. Instrumentos de gestión ambiental

En materia de implementación de instrumentos de gestión ambiental relacionados con RCD, se puso en práctica el método deductivo, es decir, se llevó a cabo una revisión que abarca la temática desde lo general a lo particular, lo cual implica un seguimiento exhaustivo de políticas nacionales, planes departamentales, municipales y programas locales, con el fin de determinar si existe una cadena articuladora que cumpla con los lineamientos normativos.

### Fase 4. Análisis de resultados

La última fase metodológica se basa en el análisis y correlación de las uni-

dades anteriormente mencionadas para generar un diagnóstico que exponga la situación actual del municipio con respecto a gestión ambiental y manejo de RCD.

### Análisis de resultados

Las unidades de análisis son documentos relacionados con gestión de RCD recuperados de bases de datos, información de entidades territoriales, autoridades ambientales y gremios del sector constructor. Gran parte de los datos analizados son de carácter global debido a que no existen estudios técnicos y especializados que cuantifiquen exactamente las toneladas que se produce en Valledupar.

En materia de instrumentos de gestión ambiental aplicada a RCD, partiendo de la resolución 0472 —a partir de la revisión bibliográfica de documentos oficiales a nivel nacional, departamental y municipal—, existe una cadena articuladora que expone las políticas nacionales sobre reglamentación y gestión integral de residuos generados en actividades de construcción y demolición, MADS (2017), seguido del Plan Departamental de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), el cual posee un programa denominado Gestión de RCD que tiene como finalidad brindar a los municipios un mecanismo de manejo articulado y eficiente que, paralelamente, debe incluir en el proceso trabajadores que de manera informal transportan estos residuos. (Agua del Cesar S.A.E.S.P., 2015). El plan de desarrollo municipal de Valledupar 2016-2019 se acopla al programa de gestión de RCD departamental.

Aunque se encuentran reglamentados los instrumentos legales vigentes en el municipio, actualmente, en Valledupar se observan inconsistencias en la implementación de dicho programa. Según resolución 0472 de 2017 “es obligación de los municipios y distritos identificar áreas donde se podrán ubicar

las plantas de aprovechamiento, puntos limpios y sitios de disposición final de RCD.” (MAD, 2017, pág. 9). En efecto, Valledupar no cuenta con escombrera municipal y, mucho menos, con plantas de aprovechamiento. Hay presencia de focos contaminantes distribuidos aleatoriamente alrededor de la ciudad.

En el proceso de la identificación y caracterización de los actores involucrados se individualizó cada agente con el propósito de indagar sobre la función, nivel de participación y responsabilidad frente a la problemática de estudio, obteniendo el siguiente resultado (tabla 3).

Valledupar posee un modelo de gestión de residuos de construcción y demolición lineal, es decir, “tomar, hacer, consumir y desechar” (López, Roca y Gassó, 2019, pág. 1), lo cual implica que toneladas de RCD generadas a diario en la ciudad no están teniendo adecuada disposición y reutilización, lo cual influye directamente en el deterioro del medio ambiente alterando propiedades del suelo, contaminando cuerpos de agua; la calidad del aire y el entorno paisajístico.

**Tabla 3. Resultados cualitativos de identificación y caracterización de actores involucrados.**

Tipo de actor	Función	Nivel de participación	Responsabilidad
Gobierno Nacional	Administrativa	Muy alto	Alta
Gobernación del Cesar	Administrativa	Alto	Alta
Alcaldía municipal de Valledupar	Administrativa	Alto	Alta
Corporación Autónoma del Cesar	Control	Medio	Media
Policía Nacional	Vigilancia	Alto	Alta
Sector construcción	Participativa	Alto	Alta
Sector academia	Participativa	Medio	Media
Carromuleros	participativa	Alta	Alta
Comunidad	Participativa	Alto	Media
Aseo del Norte S.A.S	Prestadora de servicio	Bajo	Baja

Fuente: elaboración propia.

## Conclusiones

Los estudios relacionados con RCD son escasos; por ende, prevalece un desconocimiento de diferentes sistemas de gestión integral y aprovechamiento para la reutilización secundarias de los materiales por parte del sector construcción, comunidades, instituciones y entidades públicas. Aunque se ha avanzado a nivel de normativa nacional, se aprecia que en la ciudad falta control y cumplimiento de la norma, así como incentivos e impuestos que estimulen el reciclaje y reducir la generación de estos residuos.

Partiendo de los resultados obtenidos, se evidenció que las principales ciudades de Colombia ya vienen desa-

rollando diversos modelos de gestión ambiental y tratamientos técnicos para estos residuos (Suárez, Betancourt, Molina y Mahecha, 2016, pág. 2), sin embargo, concretamente en Valledupar los avances en este sentido son aún ineficientes debido a que actualmente, no cuenta con empresas que se dediquen a reciclar RCD, ni un lugar para disponer los residuos generados y mucho menos una planta de aprovechamiento donde se clasifiquen y se de manejo a los mismos.

Considerando el alto índice de RCD que se produce en el municipio, “aproximadamente de 100.000 ton/año.” (El pilón, 2018, pág. 1), es de vital importancia realizar estudios y ensayos físico-



químicos con el fin de saber el estado y la composición de los materiales y así brindarle a próximas investigaciones y empresas constructoras datos de confiabilidad para reutilizar los residuos en diferentes procesos constructivos. Tal es el caso de Caicedo y Pérez que en 2015 fabricaron adoquines con materiales reciclados de RCD en la ciudad de Cali — Peña *et al.*, (2018)— reutilizando residuos de concreto en sub-bases para vías del Valle de Aburrá. Una buena gestión ambiental donde se apliquen las normativas, actividades de reciclaje y aprovechamiento disminuiría la explotación de materias primas, dando paso al nuevo modelo de economía circular.

Debido al poco conocimiento sobre adecuada gestión de residuos se recomienda realizar campañas de capacitación que permitan dar a conocer los diferentes sistemas de gestión sobre RCD; concientizar a la población en no disponer los residuos en sitios ilegales, diseñar una planta de aprovechamiento con el fin de reducir el volumen de residuos y, a su vez, generar fuente de empleo. Es de vital importancia trabajar interdisciplinariamente desde academia, entidades territoriales, sector constructor y entes de control para desarrollar planes de acciones sostenibles.

## Referencias

- Aguas del Cesar S.A.E.S.P. (2015). Revisión y actualización del PGIRS de los municipios de San Diego, La paz, La Jagua, El paso – La loma, Astrea, Chimichagua, Tamalameque, La gloria, Río de oro y San Alberto. Contrato de consultoría no. 021 -2015 Recuperado de [https://elpasocesar.micolombiadigital.gov.co/sites/elpasocesar/content/files/000117/5828\\_pgirs-cesar.pdf](https://elpasocesar.micolombiadigital.gov.co/sites/elpasocesar/content/files/000117/5828_pgirs-cesar.pdf) (Consultado el 3, enero, 2020).
- V. (2013). Análisis de la gestión de residuos de construcción y demolición en la comunidad autónoma de Andalucía. Sevilla. Recuperado de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/30186/fichero/Cap%C3%ADtulo+0.pdf> (Consultado el 15, octubre, 2020).
- Caicedo, S. y Pérez, J. (2015). Estudio del uso agregados reciclados de residuos de construcción y demolición (RCD) provenientes de la ciudad de Cali como material para la construcción de elementos prefabricados de concreto, caso de los adoquines. Cali. Recuperado de [http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/3146/Articulo\\_cientifico.pdf?sequence=7&isAllowed=y](http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/3146/Articulo_cientifico.pdf?sequence=7&isAllowed=y) (Consultado el 16, octubre, 2020).
- Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción. (2013). Plan de manejo de residuos de la construcción y la demolición. México. Recuperado de <https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Flayer/PM%20RCD%20Completo.pdf> (Consultado el 15, octubre, 2020).
- Camacol. (2019). Valledupar demandará 13.800 viviendas nuevas para para los próximos cuatro años. Recuperado de <https://camacol.co/comunicados/valledupardemandar%>

- C3%A1-13800-viviendas-nuevas-para-para-los-pr%C3%B3ximos-cuatro-%C3%B1os (Consultado el 3, enero, 2020).
- Congreso de la República. (2008). Ley 1259 de 2008, Comparendo ambiental. Recuperado de [http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_1259\\_2008.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1259_2008.html) (Consultado el 26, diciembre, 2019).
- Congreso de Colombia. (2016). Ley 1801, Código Nacional de Policía y Convivencia. Recuperado de <https://www.policia.gov.co/sites/default/files/ley-1801-codigo-nacional-policia-convivencia.pdf> (Consultado 5, enero, 2020).
- Comisión Nacional del Medio Ambiente. (2010). Primer reporte sobre manejo de residuos sólidos en Chile. Chile. Recuperado de [http://www.hidronor.cl/pdf/1\\_Primer\\_Reporte\\_del\\_Manejo\\_de\\_Residuos\\_S%C3%B3lidos\\_en\\_Chile\\_Conama\\_2010.pdf](http://www.hidronor.cl/pdf/1_Primer_Reporte_del_Manejo_de_Residuos_S%C3%B3lidos_en_Chile_Conama_2010.pdf) (Consultado el 15, octubre, 2020).
- Departamento Nacional de Planeación. (2016). Atlas de expansión urbana en Colombia. Recuperado de <http://atlasofurbanexpansion.org/cities/view/Bogota> (Consultado: 3 de enero, 2020).
- El Pílon. (2018). Escombrera de Valledupar quedaría en manos de terceros. Recuperado de <https://elpilon.com.co/escombrera-de-valledupar-quedaria-en-manos-de-terceros/> (Consultado 5 de enero, 2020).
- López, L., Roca, X. y Gassó, S. (2019). The circular economy in the construction and demolition waste sector – A review and an integrative model approach. *Science Direct*. Recuperado de <https://www-science-direct-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S0959652619341083> (Consultado 5, enero, 2020).
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2011). Manejo y Disposición de residuos de construcción y escombros. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros> (Consultado el 26, diciembre, 2019).
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2017). Resolución 0472, gestión integral de residuos de construcción y demolición en obra. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/3a-RESOLUCION-472-DE-2017.pdf> (Consultado el 26, diciembre, 2019).
- Ortíz, M., Matamoro, V. y Psathakis, J. (2016). Guía para confeccionar un mapeo de actores. Recuperado de <http://45.79.210.6/wp-content/uploads/2017/03/Gu%C3%A1Da-para-confeccionar-un-Mapeo-de-Actores.pdf> (Consultado el 26, diciembre, 2019).
- Peña, S., Terán, J., Molina, J., Cañola, H., Builes, A. y Zuluaga, J. (2018). Evaluación de las propiedades de residuos de construcción y demolición de concreto para su uso en la elaboración de sub-bases granulares. Una alternativa al manejo de residuos en el Valle de Aburrá. Recuperado de <https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/download/496/667/> (Consultado el 16, octubre, 2020).

- Plan de desarrollo municipal. (2016 – 2019). “Valledupar Avanza”. Recuperado, de <https://cpd.blob.core.windows.net/test1/20001planDesarrollo.pdf> (Consultado el 3, enero, 2020).
- RCD asociación. (2017). Informe de Producción y Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en España, Periodo 2011- 2015.España. Recuperado de <https://rcdasociacion.es/noticias/item/244-informe-de-produccion-y-gestion-de-residuos-de-construccion-ydemolicion-rcd-en-espana-periodo-2011-2015> (Consultado el 15, octubre, 2020).
- Suárez, S., Betancourt, C., Molina, J. y Mahecha, L. (2018). La gestión de los residuos de construcción y demolición en Villavicencio: estado actual, barreras e instrumentos de gestión. Recuperado de <https://www.redalyc.org/jats-Repo/2654/265460762014/html/index.html> (Consultado el 10, enero, 2020).

# Geodésicas ecuatoriales en espacio-tiempos conformestáticos axialmente simétricos producidos por discos relativistas de Kuzmin-Toomre con Halo

## Equatorial Geodesics in Axially Symmetric Conformastatic Spacetimes Produced by Relativistic Kuzmin-Toomre Disks with a Halo

Recibido: 20 de noviembre de 2020. Recibido en revisión: 04 de diciembre de 2020.

Aceptado: 08 de febrero de 2021.

DOI: <https://doi.org/10.33132/27114260.1910>

Luis Carlos Jaimes Supelano<sup>11</sup>

### Resumen

Einstein formula la teoría de la relatividad general y cambia la forma de entender el universo heredada por Newton cientos de años atrás, esta nueva interpretación del aparato estelar invita a obtener soluciones al engranaje matemático de la relatividad general. Una de estas soluciones exactas provoca el presente trabajo, una solución estática —específicamente, la solución de Weyl— cuya solución general se puede escribir en coordenadas cilíndricas que conduce al subconjunto de soluciones asintóticamente planas denominadas métrica conformestática. Dada esta configuración de espacio-tiempo fue posible el estudio del movimiento de partículas en campos gravitacionales generados por fuentes axialmente simétricas, como los mostrados por la familia de discos delgados relativistas de Kuzmin-Toomre inmersos en halos, cuyos modelos representan soluciones a las ecuaciones de Einstein para un espacio-tiempo conformestático y con simetría axial. Posteriormente, se realizó un análisis gráfico del potencial efectivo para el plano ecuatorial, se resolvieron las

---

<sup>11</sup> Escuela de Física. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. [luisjaimes1808@gmail.com](mailto:luisjaimes1808@gmail.com)

ecuaciones de las geodésicas en dicho plano y se determinaron las posibles trayectorias de las partículas masivas.

## Abstract

Einstein formulates the theory of general relativity and changes the way of understanding the universe inherited from Newton hundreds of years ago; this new interpretation of the star system entices us to solve the mathematical gear of general relativity. One of these exact solutions gives rise to the present work: the Weyl metrics, whose general solution can be written in cylindrical coordinates leading to the subset of asymptotically planar solutions called the conformastatic metrics. Given this spacetime configuration, it was possible to study the motion of particles in gravitational fields generated by axially symmetric sources, such as those shown by the Kuzmin-Toomre family of relativistic thin discs surrounded by a halo. Those models represent solutions to Einstein's equations for a conformastatic spacetime with axial symmetry. Subsequently, we made a graphical analysis of the effective potential for the equatorial plane, worked out the equations of the geodesics in this plane, and determined the potential trajectories of massive particles.

## Introducción

Antes de 1915, la mecánica celeste se remonta al físico y matemático Isaac Newton que define la gravedad como una fuerza con la que las masas actúan unas sobre otras, derivando en la aceleración de estos cuerpos. Esto era cierto incluso en la teoría especial de la relatividad, los cuerpos moviéndose por fuerzas atractivas y repulsivas sin que el tiempo y el espacio se vieran afectados. Era lógico especular que el espacio y el tiempo continuaban sin ninguna alteración, sin embargo, es bastante diferente en la teo-

ría de la relatividad general (Prasanna, 2016), basada en la revolucionaria interpretación que la gravedad no es una fuerza, sino una consecuencia de la curvatura del espacio-tiempo por la distribución de masa y energía en él, razón por la cual, los cuerpos no siguen órbitas curvas por una fuerza llamada gravedad, se mueven en órbitas curvas porque siguen lo más cercano a un camino recto en un espacio deformado, camino que se denomina geodésica (Ohanian & Nordtvedt, 1977). Las partículas masivas y

los rayos de luz también deben seguir las geodésicas en el espacio curvado, por esta razón, analizar trayectorias en una configuración específica del espacio-tiempo es de interés físico, ya que la forma en que orbiten estas partículas permite deducir propiedades del campo gravitatorio.

En busca de modelar los diferentes fenómenos de la naturaleza, en particular configuraciones discoidales de materia como las presentes en nebulosas y galaxias (Jones & Lambourne, 2004) y de analizar las trayectorias que siguen las partículas en estas, es posible comenzar el estudio con el espacio-tiempo plano y buscar ecuaciones de campo que describan el campo gravitacional aproximándose al espacio de Minkowski. Una forma de realizar este análisis es mediante una configuración del espacio que permita ignorar la materia distante al punto de evaluación y omitir la curvatura presente como la métrica conformestática (Stephani *et al.*, 2003), derivada de una solución estática a las ecuaciones de Einstein (Valiente Kroon, 2016) y conformalmente plana en su parte espacial. En relatividad general, soluciones estacionarias axialmente simétricas de las ecuaciones de Einstein juegan un papel crucial para la descripción del campo gravitacional de objetos

astrofísicos cuya fuente de materia no rota (Synge, 1958).

Una de esas soluciones estáticas con simetría axial, corresponde a la configuración del espacio-tiempo conformestático cuya importancia radica en que la geometría del espacio es asintóticamente plana y puede ser usada para múltiples propósitos astrofísicos como el análisis de fuentes discoidales de polvo en movimiento constante (Katz *et al.*, 1999), discos finitos cargados (González *et al.*, 2008), sistema disco-halo en presencia de un campo electromagnético (Gutiérrez-Piñeres *et al.*, 2013), una expresión no estándar del perihelio de pequeñas partículas en el sistema solar (Capistrano *et al.*, 2014) y la superposición analítica de un agujero negro cargado con un disco anular de polvo extremo (Navarro *et al.*, 2016).

Caracterizado el campo gravitacional, la investigación se dirige a estudiar las trayectorias que siguen las partículas masivas en estos campos. Varios autores dedicaron su conocimiento a calcular y analizar geodésicas en diferentes configuraciones del espacio-tiempo como lo hacen en la métrica de Schwarzschild (Hackmann & Lämmerzahl, 2008) que permite modelar agujeros negros o en la métrica de Kerr que permite caracte-

rizar agujeros negros rotantes (Wilkins, 1972). Del mismo modo, otras configuraciones menos populares presentan resultados interesantes de geodésicas como los que se evidencian en el espacio de Kasner (Harvey, 1989), Godel (Camici, 2014) o Bardeen (Zhou *et al.*, 2012).

En la sección I se introducen los conceptos básicos de la configuración conformestática del espacio-tiempo derivado de las soluciones estáticas con simetría axial; se define matemáticamente el movimiento de partículas de prueba masivas en el plano ecuatorial mediante el formalismo Lagrangiano, se obtienen las expresiones para el potencial efectivo y las ecuaciones de movimiento de órbitas no circulares, basados en la formulación adimensional de todas las expresiones matemáticas. En la sección II se presenta un modelo relativista que describe discos delgados inmersos en un halo estelar, derivado de una familia de soluciones en la cual el potencial gravitacional está completamente determinado, es asintóticamente plano, libre de singularidades, y satisface todas las condiciones de energía. En la sección III se realiza el análisis gráfico del potencial efectivo de los primeros tres términos ( $n=0,1,2$ ) de la familia de soluciones de Kuzmin-Toomre variando el momento angular de la partícula de prueba, se re-

suelve numéricamente la ecuación de movimiento para los diferentes valores de los parámetros involucrados; se grafican las geodésicas de estas partículas, interpreta físicamente y se realiza un análisis cualitativo de estos resultados. Finalmente destaca una serie de conclusiones que se deducen del trabajo realizado.

## I. Movimiento de una partícula de prueba

El elemento de línea de la métrica conformestática (González *et al.*, 2008) en coordenadas cilíndricas es:

$$ds^2 = -e^{2\psi} dt^2 + e^{2\psi} [d\rho^2 + \rho^2 d\varphi^2 + dz^2], \quad (1)$$

donde la función  $\psi$  depende solamente de  $(\rho, z)$ . Los rangos de dichas coordenadas son estándares y se utiliza la convención de signos desarrollado en el lenguaje cuadvectorial de Minkowski.

Para la geometría conformestática el lagrangiano corresponde a:

$$2\mathcal{L} = -e^{2\psi} t^2 + e^{2\psi} [\rho^2 + \rho^2 \varphi^2 + z^2], \quad (2)$$

donde el punto denota derivación con respecto al parámetro afín  $\tau$ . Se introducen las constantes de movimiento que corresponden a la energía  $-E = \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial t}$  y el momento angular por unidad de masa  $\ell = \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \varphi}$ , que permiten comprender el comportamiento de la fuente gravita-

toría (Scheck, 2010). El interés se concentra en las trayectorias sobre el plano ecuatorial, por tanto, la ecuación 2 se reduce a:

$$2\mathcal{L} = \frac{E^2}{e^{2\psi}} + e^{-2\psi}\rho^2 + \frac{\ell^2}{\rho^2}, \quad (3)$$

donde se impone una condición para distinguir el tipo de partícula analizada

$$2\mathcal{L} = \epsilon^2 = 0, -1, \quad (4)$$

con  $\epsilon=0$  para el análisis de geodésicas tipo luz y  $\epsilon=-1$  para geodésicas tipo tiempo. La órbita circular está determinada por las condiciones  $\rho=cte$  y  $\dot{\rho}=0$  que reduce la ecuación 3 a:

$$\frac{E^2}{2} = \frac{\rho^2}{2} + \frac{e^{2\psi}}{2} e^{-2\psi} [\epsilon^2 + \frac{\ell^2}{\rho^2} e^{2\psi}], \quad (5)$$

donde se define la expresión denominada potencial efectivo (Taylor, 2005)

$$V_{eff} = e^{2\psi} [\epsilon^2 + \frac{\ell^2}{\rho^2} e^{2\psi}] \quad (6)$$

el cual es función  $\rho$  de  $\psi$  y permite reinterpretar la definición de energía transformando el problema en un problema unidimensional; así, la investigación del movimiento de partículas de prueba en el espacio-tiempo conformestático se reduce al estudio del movimiento en el potencial efectivo  $V_{eff}$ . Para efectos de la presente investigación, se analizará el movimiento de las partículas tipo tiem-

po, pero es posible extender el análisis a las partículas tipo luz o fotones (Jaimes, 2018).

## Órbitas no circulares para partículas masivas

Una partícula de prueba cuyo efecto gravitacional es insignificante, puede moverse en el espacio-tiempo conformestático en una variedad de órbitas posibles que se derivan resolviendo las ecuaciones de movimiento apropiadas, lo que es equivalente a encontrar las geodésicas en el espacio-tiempo. Es conocido que la geometría del espacio-tiempo puede ser caracterizada por el movimiento de partículas de prueba que se mueven a lo largo de las geodésicas en la geometría dada, tanto partículas masivas que se mueven en geodésicas tipo tiempo como rayos de luz que se mueven en geodésicas nulas. Las órbitas en el plano ecuatorial están determinadas por las coordenadas radial  $\rho$  y azimutal  $\varphi$  que se obtienen mediante:

$$\rho = E^2 - e^{2\psi} \epsilon^2 - \ell^2 / \rho^2, \quad (7)$$

$$\varphi = \ell e^{2\psi} \rho^{-2}$$

que corresponden a un sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden que determinan las geodésicas en el plano  $z = 0$ .



Para el movimiento de partículas de prueba en el plano  $z = 0$  se necesitan las coordenadas  $\rho$  y  $\varphi$ . Matemáticamente, el sistema que describe el movimiento está formado por dos ecuaciones. La ecuación 7 muestra la constante de movimiento momento angular por unidad de masa y establece que todo el movimiento permanece en el plano ecuatorial. Por analogía con el problema clásico se interpretan los términos como la energía cinética radial, la energía rotacional y la energía potencial. La ecuación 8 es otra forma de escribir la ecuación 6 y se obtiene directamente del elemento de línea (ecuación 2), de esta forma, para un conjunto de dos ecuaciones y dos variables, el sistema está bien determinado y tiene solución numérica.

## II. Discos relativistas de Kuzmin-Toomre

El análisis de la teoría del potencial newtoniano de discos infinitesimalmente delgados permite generar potenciales de discos axisimétricos, estos resultados se pueden utilizar para construir secuencias infinitas de nuevas soluciones de ecuaciones de Einstein que describen discos de masa finita. A grandes distancias, estos discos se vuelven newtonianos, pero en sus regiones centrales exhiben

características relativistas. En particular, se construyeron espacios-tiempos mediante una familia de soluciones exactas denominadas discos relativistas de Kuzmin-Toomre cuyas propiedades se mencionan y se ilustran.

Una solución al problema de calcular el potencial gravitacional generado por una distribución en forma de disco delgado de materia fue propuesta por primera vez por Kuzmin y después generalizada por Toomre en lo que se conoce como el modelo de Kuzmin-Toomre (Binney & Scott, 2011). El modelo está definido por una solución particular de la ecuación de Laplace que cumple las condiciones de energía

$$\nabla^2 \psi = k \nabla \psi \cdot \nabla \psi, \quad (9)$$

con  $k > 1$ ; Si  $k$  tiende al infinito, el fluido en el halo estará hecho de polvo, si  $k$  es igual a 1, describirá un fluido hecho de radiación (Pimentel, 2012). Es de gran importancia comprender que se debe encontrar otra función para modelar el potencial gravitacional, por tanto, la ecuación 9 se puede reescribir como:

$$\nabla^2 (e^{-k\psi}) = 0, \quad (10)$$

de modo que la función sea solución a la ecuación de Laplace ya que esta ecuación juega un papel importante en el desarrollo de los campos vectoriales que

derivan de un potencial gravitatorio, además de describir procesos estacionarios.

Por características de la métrica conformestática, el espacio-tiempo tiende a Minkowski en el infinito, lo que implica que debe ser asintóticamente plano, lo que transforma la ecuación 10 en:

$$e^{-k\psi} = 1 - \Phi, \quad (11)$$

que permite relacionar los términos de la familia de soluciones de Kuzmin-Toomre con la función  $\Phi$  deseada. La función posee simetría de reflexión alrededor del plano del disco, es decir:

$$\Phi(\rho, z) = \Phi(\rho, -z), \quad (12)$$

que indica que el potencial gravitacional sobre la distribución de masa  $z > 0$ , posee las mismas propiedades que en  $z < 0$ . El modelo tiene una expresión general definida por:

$$\Phi_n(R, \theta) = - \sum_{\ell=0}^n \frac{C_\ell}{R^{\ell+1}} P_\ell(\cos\theta), \quad (13)$$

donde  $C_\ell$  son constantes,  $P_\ell(\cos\theta)$  son los polinomios de Legendre (Arfken *et al.*, 2013) y

$$R = \sqrt{\rho^2 + z^2} \quad (14)$$

$$\cos(\theta) = \frac{z}{R} \quad (15)$$

Ahora, como esta solución y todas sus derivadas son continuas, se introdu-

ce una transformación sobre la coordenada  $z$

$$z \rightarrow |z| + d, \quad (16)$$

donde  $d$  es una constante positiva y determina el modelo de discos de Kuzmin-Toomre que presenta un número infinito de funciones que describe exitosamente un modelo de potencial gravitacional para distribuciones masivas aplanadas. Para esta investigación se trabajaron los primeros tres términos de la familia de soluciones, es decir, la solución para los casos  $n = 0, 1, 2$  (Jaimes, 2018).

### III. Análisis de resultados

Es posible reducir el problema de una partícula al análisis de un potencial central (ecuación 6) cuya dinámica aporta mucha información sobre las trayectorias en dicho potencial, que es el objetivo de esta investigación. Para obtener los resultados que se van a exponer, se resolvieron las ecuaciones de movimiento mediante un *software* de cálculo simbólico como MAPLE y se obtuvo una serie de resultados numéricos que fueron posteriormente graficados y analizados cualitativamente.

La forma de interpretar los datos y de estudiarlos consistió en primera instancia en graficar el potencial efectivo

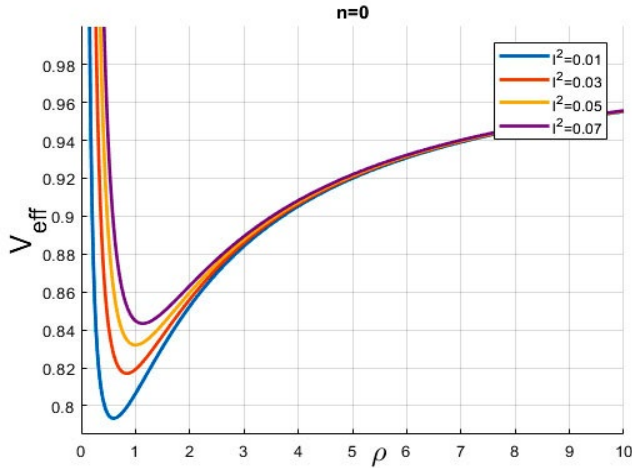


Figura 1. Cambios en el potencial efectivo para el modelo  $n = 0$  de partículas masivas cuando varía el valor del momento angular  $l^2$  con  $A_0=2$  y  $k = 7.9$ . Fuente: elaboración propia.

de la partícula y observar su variación en función del momento angular, luego, se identifican zonas energéticas principales y se analizan cuáles son las posibles trayectorias en estas zonas, realizando las respectivas gráficas de las geodésicas de la partícula y finalmente se hace una interpretación física del fenómeno.

En la figura 1 se grafica el potencial efectivo para el término  $n = 0$  y se varía el momento angular de las partículas de prueba, se reconocen algunos puntos importantes como el pozo de potencial, la distancia entre el potencial efectivo y el eje  $\rho$  y el mínimo del potencial efectivo. En primera instancia una partícula

masiva que tenga una energía superior al pozo viene de un punto lejano, se acerca al centro del potencial hasta una distancia determinada por el efecto de la fuerza centrífuga debido al momento angular, rebota en una especie de barrera de potencial y como no tiene cota superior se dirige al infinito.

Si la partícula tiene una energía que la confina dentro del pozo de potencial, tendrá una cota inferior y superior, lo que indica que va a fluctuar su trayectoria. Dependiendo de su momento angular, tendrá cotas inferiores más lejanas del centro de potencial y en general una distancia máxima a la que llega la

partícula que varía en función de las condiciones de energía iniciales. Si la partícula tiene una energía que la ubica exactamente en el mínimo del potencial, esta tendrá una trayectoria circular estable. Ahora se grafican las geodésicas de la partícula masiva con momentos angulares  $\ell^2=0.05$  y  $\ell^2=0.1$  para el modelo  $n = 0$ .

En la figura 2 y figura 3, la órbita circular estable es representada por un

círculo rojo y las trayectorias por trazos azules. Se observan situaciones características de las órbitas que varían según el momento angular; el radio de la órbita circular es más grande a medida que el momento angular crece, la cota inferior y superior crecen, es decir, cada vez están más alejadas del centro del potencial, y el círculo central también crece. Ahora se analiza el comportamiento de los modelos  $n = 1$  y  $n = 2$ .

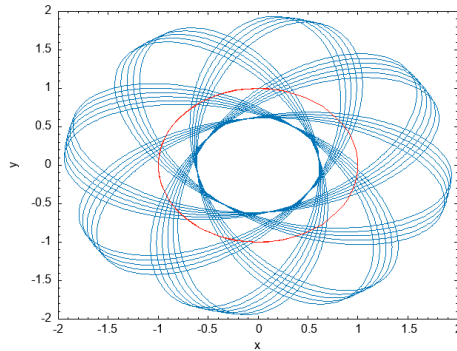


Figura 2. Trayectorias acotadas de partículas masivas con  $\ell^2 = 0.05$  para el modelo de  $n = 0$ . Fuente: elaboración propia.

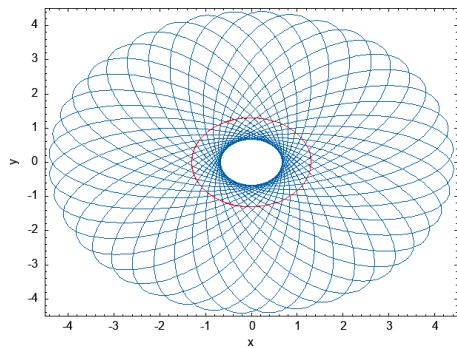


Figura 3. Trayectorias acotadas de partículas masivas con  $\ell^2 = 0.1$  para el modelo de  $n = 0$ . Fuente: elaboración propia.

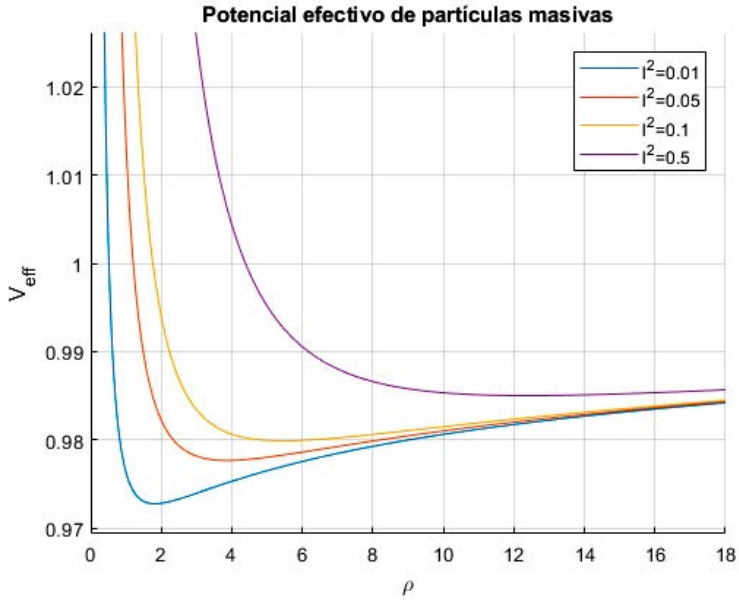


Figura 4. Cambios en el potencial efectivo para el modelo  $n = 1$  de partículas masivas cuando varía el valor del momento angular  $l^2$  con  $A_0=167$ ,  $A_1=46$ , y  $k = 292$ . Fuente: elaboración propia.

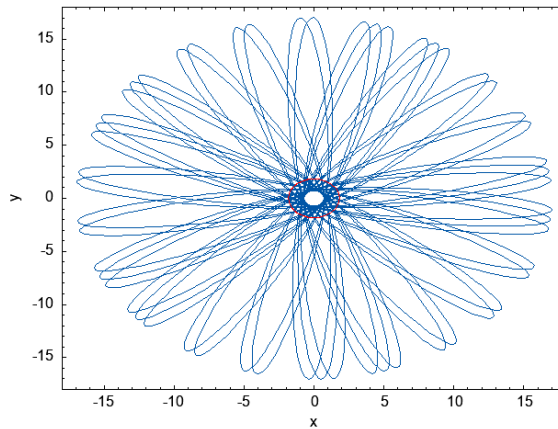


Figura 5. Trayectorias acotadas de partículas masivas con  $l^2 = 0.01$  para el modelo de  $n = 1$ . Fuente: elaboración propia.

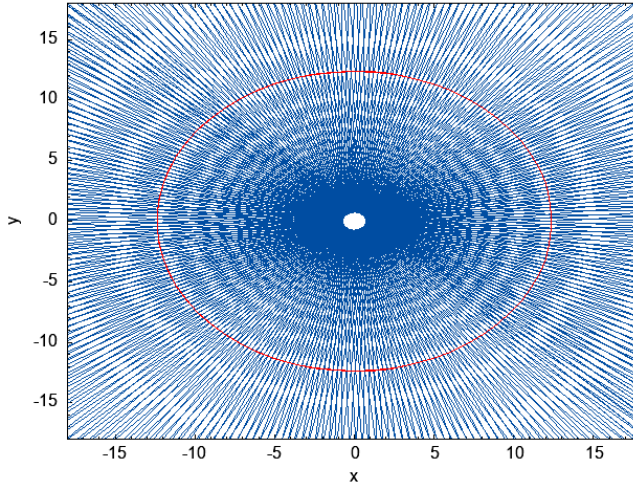


Figura 6. Trayectorias acotadas de partículas masivas con  $\ell^2 = 0.5$  para el modelo de  $n = 1$ .  
Fuente: elaboración propia.

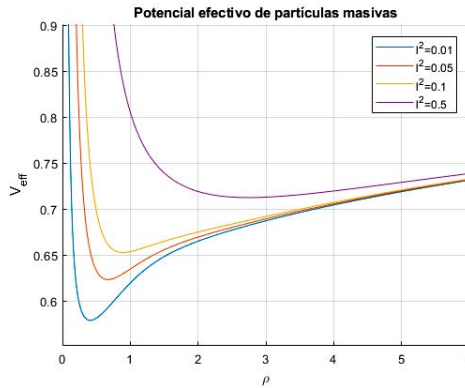


Figura 7. Cambios en el potencial efectivo para el modelo  $n = 2$  de partículas masivas cuando varía el valor del momento angular  $\ell^2$  con  $A_0=100$ ,  $A_1=-20$ ,  $A_2=90$  y  $k = 18.12$ .  
Fuente: elaboración propia.

Para la familia de soluciones con  $n = 1$  se puede observar que el potencial no tiene un pozo de potencial pronunciado, pero existen órbitas circulares estables, lo que indica que la cota mayor es bastante lejana del centro, razón por la cual,

las órbitas son bastante pronunciadas. A medida que el momento angular aumenta, el círculo central o distancia al centro del potencial es mayor, así como el radio de las órbitas circulares estables.

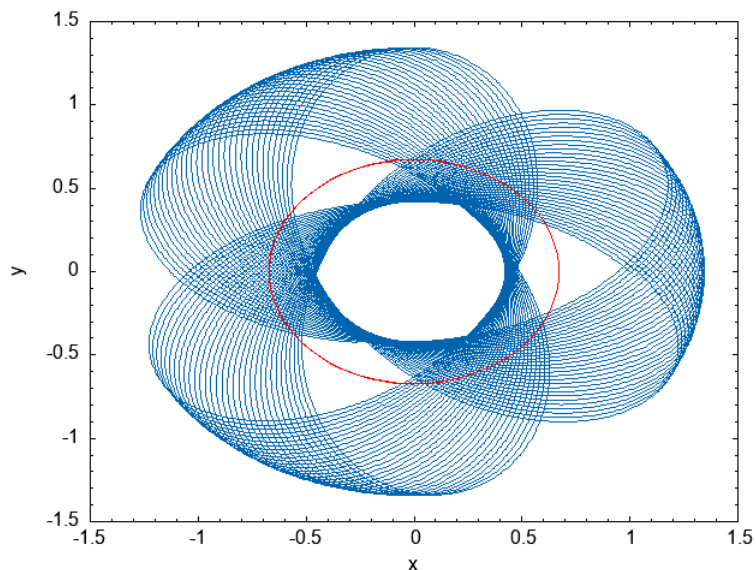


Figura 8. Trayectorias acotadas de partículas masivas con  $\ell^2 = 0.03$  para el modelo de  $n = 2$ . Fuente: elaboración propia.

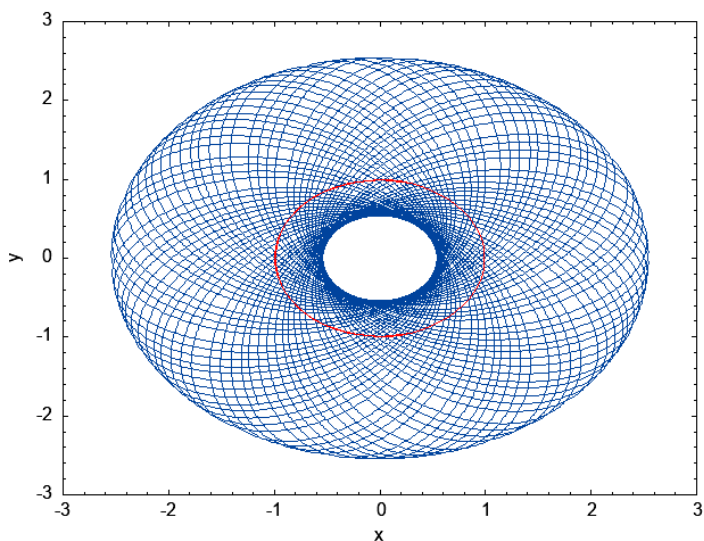


Figura 9. Trayectorias acotadas de partículas masivas con  $\ell^2 = 0.05$  para el modelo de  $n = 2$ . Fuente: elaboración propia.

La familia de soluciones  $n = 2$  tiene un comportamiento similar a  $n = 0$  como lo señalan la figura 8 y figura 9, ya que presenta un pozo de potencial un poco más profundo cuando el momento angular decrece, esto indica trayectorias definidas que tienen cota superior, un círculo central que denota la distancia mínima con respecto al origen del potencial y aún existen órbitas circulares estables.

## Conclusiones

En este trabajo se ha realizado el estudio de órbitas en campos gravitacionales axialmente simétricos generados por fuentes discoideas de materia bajo la formulación Lagrangiana. El modelo de potencial elegido cumple con la condición de configuración de materia axial y además presenta simetría respecto al plano  $z = 0$ . Los modelos elegidos fueron los primeros tres términos de la familia de soluciones de discos relativistas de Kuzmin-Toomre que fueron generados a partir de un potencial generalizado de infinitos términos. A cada modelo del potencial se analizó la dinámica de las órbitas en el plano ecuatorial, se determinó la expresión del potencial efectivo y bajo un determinado conjunto de condiciones iniciales y parámetros se encontró la solu-

ción de las ecuaciones de las geodésicas mediante una solución determinada por métodos numéricos.

El modelo estudiado se solucionó a partir del método Runge-Kutta-Fehlberg de quinto orden que es un algoritmo de análisis numérico para la resolución numérica de ecuaciones diferenciales ordinarias, lo que permite graficar las geodésicas de las diferentes partículas de prueba. De lo cual se concluyó de manera general para partículas masivas que las geodésicas son órbitas abiertas acotadas y contiene al menos una órbita circular estable. Es interesante encontrar que las órbitas circulares en el espacio-tiempo conformestático siempre será estable, ya que indistintamente de la elección del momento angular, el potencial efectivo tendrá un mínimo.

## Referencias

- Arfken, G. B., Weber, H. J., & Harris, F. E. (2013). Mathematical Methods for Physicists. In *Mathematical Methods for Physicists*. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-3062-9-7>
- Binney, J., & Scott, T. (2011). Galactic dynamics. *Contemporary Physics*, 30(1), 65–67. <https://doi.org/10.1080/00107518908222591>
- Camci, U. (2014). Symmetries of geodesic motion in Gödel-type spacetimes. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*,



- 2014(7). <https://doi.org/10.1088/1475-7516/2014/07/002>
- Capistrano, A. J. S., Roque, W. L., & Valada, R. S. (2014). Weyl conformastatic perihelion advance. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 444(2), 1639–1646. <https://doi.org/10.1093/mnras/stu1567>
- González, G. A., Gutiérrez-Piñeres, A. C., & Ospina, P. A. (2008). Finite axisymmetric charged dust disks in conformastatic spacetimes. *Physical Review D - Particles, Fields, Gravitation and Cosmology*, 78(6), 1–8. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.78.064058>
- Gutiérrez-Piñeres, A. C., González, G. A., & Quevedo, H. (2013). Conformastatic disk-haloes in Einstein-Maxwell gravity. *Physical Review D - Particles, Fields, Gravitation and Cosmology*, 87(4), 1–12. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.87.044010>
- Hackmann, E., & Lämmerzahl, C. (2008). Geodesic equation in Schwarzschild-(anti-)de Sitter space-times: Analytical solutions and applications. *Physical Review D - Particles, Fields, Gravitation and Cosmology*, 78(2), 1–22. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.78.024035>
- Harvey, A. (1989). *Geodesics in Kasner universes*. 19(301), 6740. <http://indication.bsnmedical.com/fileadmin/professionals/PDFs/Acute Wound Care EBM/Bali D 2010 Clinical experiences with a Skin Stapler EWMA.pdf>
- Jaimes, L. C. (2018). *Estudio de Geodésicas ecuatoriales en espacio-tiempos conformestáticos axialmente simétricos producidos por discos relativistas de Kuzmin-Toomre con Halo*. Universidad Industrial de Santander. Escuela de física.
- Jones, M. H., & Lambourne, R. (2004). *An Introduction to Galaxies and Cosmology*. CUP.
- Katz, J., Bicák, J., & Lynden-Bell, D. (1999). Disc sources for conformastationary metrics. *IOPScience*, 4023.
- Navarro, A., Lora-Clavijo, F. D., & González, G. A. (2016). Relativistic static thin disks of polarized matter. *Journal of Physics: Conference Series*, 755(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/755/1/011001>
- Ohanian, H. C., & Nordtvedt, K. (1977). Gravitation and Spacetime. In *American Journal of Physics*. <https://doi.org/10.1119/1.10631>
- Pimentel, O. (2012). *Construcción de modelos relativistas de discos delgados axialmente simétricos inmersos en un halo*. Universidad Industrial de Santander.
- Prasanna, A. R. (2016). Gravitation. In *Gravitation*. <https://doi.org/10.1201/9781315368702>
- , F. (2010). *Mechanics: From Newton's Laws to Deterministic Chaos*. Springer-Verlag Berlin.
- Stephani, H., Kramer, D., MacCallum, M., Hoenselaers, C., & Herlt, E. (2003). Exact Solutions of Einstein's Field Equations. In *Exact Solutions of Einstein's Field Equations*. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511535185>
- Synge, J. (1958). *Relativity: The special theory*. Interscience Publishers.
- Taylor, J. R. (2005). *Classical Mechanics*. University Science Books.

- Valiente Kroon, J. A. (2016). Conformal methods in general relativity. In *Conformal Methods in General Relativity*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139523950>
- Wilkins, D. C. (1972). Bound geodesics in the Kerr metric. *Physical Review D*, 5(4), 814–822. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.5.814>
- Zhou, S., Chen, J., & Wang, Y. (2012). Geodesic structure of test particle in bardeen spacetime. *International Journal of Modern Physics D*, 21(9), 1–13. <https://doi.org/10.1142/S0218271812500770>

# Aprovechamiento del grano de caucho reciclado para la elaboración de adoquines ecológicos como alternativa a la industria constructiva

## Using Recycled Rubber Grain for Making Ecological Paving Stones as an Alternative for the Construction Industry

Recibido: 20 de noviembre de 2020. Recibido en revisión: 04 de diciembre de 2020.

Aceptado: 08 de febrero de 2021.

DOI: <https://doi.org/10.33132/27114260.1911>

Luis Ángel Jaimes Leal, Karina Paola Torres Cervera.

Pedro Juan Torres Flores<sup>12</sup>

### Resumen

Este trabajo tuvo desarrollo a partir de la hipótesis de agregados reciclados, Grano de Caucho Reciclado sustituyendo el agregado fino, como ingrediente de morteros en la fabricación de elementos constructivos, ejemplo de ello, los adoquines. Su contenido abarca los resultados de la investigación sobre las propiedades fisicoquímicas de distintas dosificaciones cuyo contenido de árido se sustituyó parcialmente por GCR en distintos porcentajes. Se evidencia la evaluación de las propiedades mecánicas de las dosificaciones en estudio con las réplicas convencionales mediante ensayos de absorción, flexo-tracción y compresión.

Se determinó que puede brindar una alternativa diferente para el reciclaje ya que el GCR puede ser usado como posible sustituto de agregado fino; se obtuvieron adoquines ecológicos con 5, 7 y 9 por ciento en sustitución de arena, que presentaron una absorción y resistencia a la flexión por encima de lo exigido por la norma técnica colombiana.

---

<sup>12</sup> Facultad de Ingenierías y Tecnologías, Universidad Popular del Cesar, Valledupar, Colombia. [luisjaimes2510@gmail.com](mailto:luisjaimes2510@gmail.com), [kari-naptorres@unicesar.edu.co](mailto:kari-naptorres@unicesar.edu.co) <https://orcid.org/0000-0003-2646-2871>. [pedrotorres@unicesar.edu.co](mailto:pedrotorres@unicesar.edu.co)

**Palabras clave:** Agregados reciclados, elementos constructivos, experimentación, dosificación, Norma Técnica Colombiana (NTC).

## Abstract

This work derives from the hypothesis that recycled aggregates, recycled rubber grain (RRG), can replace fine aggregates as an ingredient of mortars in manufacturing construction materials, e.g., paving stones. Its content includes the research results on the physicochemical properties of different dosages whose aggregate content was partially replaced by RRG in different percentages. It also assesses the mechanical properties of the studied dosages with the conventional replicas using absorption, flexotraction, and compression tests. Thus, we could determine a different alternative for recycling since RRG can be used as a potential substitute for fine aggregate. Ecological paving stones were obtained with 5, 7, and 9 percent sand substitution, showing absorption and bending strength levels above the requirements of the Colombian Technical Standard.

**Keywords:** Recycled aggregates, experimentation, dosage, construction elements, Colombian Technical Standard (NTC).

## Introducción

El sector transporte es una herramienta masiva a través de la cual se logra la movilización de productos de uso personal, alimenticios y, normalmente personas. Según los estudios del departamento técnico administrativo del medio ambiente, en nuestro país esta actividad económica, aparte de crear una gran cantidad de empleos y ser el sustento de miles de familias, también ocasiona un grave impacto sobre los recursos naturales, ya que es el sector que más consume deri-

vados del petróleo como combustibles y lubricantes; industrializa gran cantidad de residuos como llantas, aceites y baterías, además de generar 80 % de la contaminación atmosférica en ciudades que cobijan grandes asentamientos poblacionales como es el caso de Bogotá (Guía Para el Manejo de Llantas Usadas, 2006).

Durante muchos años mientras un porcentaje de los neumáticos ha sido re-procesado y utilizado, otro tanto de estos ha sido ubicado en lugares de disposición especial o normalmente botados a cielo

abierto y quemados, lo que en consecuencia crea escenarios devastadores visualmente y sirven como hábitat para proliferación de vectores como ratones, moscas y dengue, siendo estos de letal afectación sobre la salud pública de la población aledaña (Cardona y Sánchez, 2011).

Es de subrayar que el problema ambiental no solo recae en la explotación de asentamientos mineros; también destaca la generación de residuos como llantas, los cuales aumentan proporcionalmente con el crecimiento del parque automotor (Guía Para el Manejo de Llantas Usadas, 2006).

En todo caso, la generación desmedida de llantas y escasez de recursos pétreos puede crear una medida para contribuir al beneficio ambiental con la reutilización de las llantas para elaboración de adoquines.

De acuerdo con esto, primero identificamos aspectos e impactos ambientales del post-consumo de la llanta, luego explicamos la elaboración de un adoquín ecológico con dosificaciones más apropiadas de grano de caucho reciclado, arena, cemento y, finalmente, evaluamos sus propiedades y características mediante pruebas de laboratorio (Prueba de absorción de agua, resistencia a flexo-tracción y com-

presión) conforme a lo establecido en la norma técnica colombiana (NTC,2017).

Este proyecto se enfoca en evaluar que tan viable es incorporar residuos provenientes de llantas como material para la elaboración de adoquines y la viabilidad técnica de este propósito. La caracterización tanto física como mecánica de este agregado reciclado se ejecutó ateniendo lineamientos de saneamiento ambiental donde se propone el aprovechamiento de llanta residual en diseño de nuevos materiales para la construcción. Por último, proponemos distintos usos en parques recreacionales, andenes peatonales y zonas de tránsito vehicular pasivo.

## Metodología

La tipología del estudio es experimental o cuasi experimental. Se probaron distintas concentraciones de material tipo caucho y el enfoque es cuantitativo. Con el fin de corroborar los resultados obtenidos se empleó un diseño de experimento completamente aleatorizado, ya que la fuente de variabilidad perturbadora se conoce y es controlable (condiciones ambientales), no hay un gradiente que afecte, se mantiene constante.

El enfoque de carácter cuantitativo ayudó a cuantificar el problema y entender que tan generalizado está mediante

la búsqueda de resultados proyectables que normalmente buscan medir la magnitud y van tras datos estadísticos que se interpretan objetivamente.

Para la evaluación de impactos ambientales se utilizó la metodología propuesta por Conesa la cual plantea la obtención de valores a partir de la valoración cualitativa y cuantitativa de los impactos ambientales identificados, obteniendo una matriz de interacción para los impactos ocasionados (C. Fernández, 1995).

El proceso de elaboración de los adoquines ecológicos se realizó en las instalaciones del laboratorio SOAL INGENIERIAS S.A.S., teniendo en cuenta la metodología convencional que ellos emplean para la fabricación de adoquines vaciado en moldes o formaletas, ya que es más factible debido a su bajo costo y la posibilidad de alcanzar altos volúmenes de producción.

Dentro de los procesos empleados se debe cumplir con lo siguiente:

- Los materiales debidamente pesados deben ser introducidos en un recipiente.
- Debe mezclarse hasta alcanzar homogeneidad.

- Después de la homogenización se vierte la mezcla en el molde.
- Se debe enrasar la cara superior externa del adoquín con el fin de garantizar la figura.
- Esperar entre 8 y 12 horas para garantizar un fraguado adecuado.

Una vez realizado el desmante es necesario exponerlo a períodos continuos de agua para que así se obtenga un curado adecuado y en consecuencia aumente la resistencia del adoquín para una edad de 28 días como estipula la norma (Dimarco, R. M. (2015)).

Se obtuvieron ciento noventa y dos adoquines utilizando cinco replicas por dosificación para cada prueba con el fin de aumentar los grados de libertad del experimento y en consecuencia disminuir el error experimental en el diseño para que sea sensible a diferencias entre tratamientos.

Como se pretende evaluar el comportamiento del agregado reciclado en la composición de la mezcla, se suplió en tres porcentajes diferentes el contenido de este 5%, 7% y 9% por ciento con respecto al agregado fino convencional.

Se efectuaron doce réplicas con características de adoquín comercial 0 % (Testigo), doce al 5 % de grano de caucho, doce al 7 % de grano de caucho y doce al 9 % de grano de caucho “por dosificación de mezcla”, ya que los moldes son de doce adoquines y así contar con dos unidades sobrantes en caso de adoquines defectuosos o la necesidad de repetir alguna prueba, todo esto con el fin de aumentar la confiabilidad en los datos experimentales, es decir, cinco sometidos a prueba de absorción, al no ser una prueba destructiva podrán ser aprovechados para la prueba de flexo-tracción y por último, cinco sometidos a una rotura por compresión.

Con el fin de corroborar los resultados obtenidos experimentalmente se empleó un diseño de experimento completamente aleatorizado, ya que la fuente de variabilidad perturbadora se conoce y es controlable (condiciones ambientales), no hay un gradiente que afecte, se mantiene constante (D. C. Montgomery, 2004).

Obtenidos los resultados del análisis de varianza del “DCA” se procedió a utilizar la prueba de Dunnett siendo esta la ideal a emplear cuando uno de los tratamientos es testigo y así comparar las medias entre tratamientos (J. Fallas, 2012)

## Discusión y resultados

### Identificación de los aspectos e impactos ambientales a causa del post-consumo de la llanta

Teniendo en cuenta los factores ambientales que pueden ser afectados por acciones de la inadecuada disposición final de las llantas, se representó la acción y los componentes del ambiente afectados, dando como resultado la intercepción con cada celda en función del impacto ambiental existente.

La figura 1 presenta los resultados de la valoración de impactos ambientales a raíz de la disposición inadecuada de las llantas.

Para determinar el valor de cada celda en la matriz se multiplicaron las calificaciones propuestas subjetivamente, precedidas de signos según sea adverso o positivo cada impacto aplicando la ecuación de la importancia de un impacto ambiental.

En la matriz de impactos se obtiene la interrelación de la actividad con cada componente ambiental en consideración. Se producen para la presente actividad diecisiete (17) interacciones causa-efecto de las cuales únicamente seis (6) se interrelacionan generando impacto negativo.

ACCIONES DEL PROYECTO.	BIOTICO					ABIOTICO						SOCIAL					
	Fauna			Flora		Aire			Suelo		Agua		Paisaje.	Demográfico	Cultural		
	Diversidad	Migraciones	Abundancia	C. Vegetal	Comunidades vegetales	Calidad	Nivel de olor	N. de ruido	C. de uso del suelo	Erosión	Calidad	Cantidad	Calidad	Contraste	Calidad de vida	Nivel de empleo	Cambios de estilo de vida
Disposición de las llantas						-32					-41			-44	-45		

**Figura 1. Valoración de impactos ambientales.**  
Fuente: elaboración propia.

Calculada la importancia de cada uno de los impactos y consignados estos valores en la matriz, se procede a un análisis cualitativo de los resultados complementando el proceso de valoración. La categorización de los impactos ambientales evaluados e identificado, se ha realizado respecto al valor de cada uno. Para esto se han conformado dos categorías de acuerdo con la siguiente tabla.

**Tabla 1. Categorización de los impactos.**

RANGOS	I	CÓDIGO
Compatible	(-10 >   < -25)	C
Compatible	(-10 >   < -25)	C
Moderado	(-25 >   > -50)	M
Moderado	(-25 >   > -50)	M
Moderado	(-25 >   > -50)	M
Moderado	(-25 >   > -50)	M

Fuente: elaboración propia.

Según la tabla anterior; 33,33 % son impactos compatibles (16,66 % correspondiente al componente biótico y otro

16,66% al abiótico) y 66,66 % son impactos moderados (aplicando 16,66 % al componente social y otro 49,99 % pertenecientes al abiótico) arrojando las siguientes conclusiones.

La disposición inadecuada de las llantas podría generar un impacto compatible afectando al componente biótico asociado a la cobertura vegetal.

Esta actividad podría generar un impacto moderado afectando al componente abiótico asociado a la calidad del aire, así mismo a la calidad suelo, el contraste del paisaje (estas últimas con el mayor valor de este componente) y por último, un impacto compatible con el componente abiótico implicado en la calidad del agua.

Disponer de forma inadecuada las llantas podría generar un impacto moderado afectando al componente social asociado a la calidad de vida.



## Elaboración de un adoquín ecológico con las dosificaciones más apropiadas de GCR, arena, cemento y agua

### Diseño de mezcla

Como se pretende evaluar el comportamiento del agregado reciclado en la composición de la mezcla, se elaboraron cuatro dosificaciones de mezcla para

1m<sup>3</sup> de mortero con el fin de analizar a detalle el rendimiento de los especímenes en cada una de las pruebas.

De acuerdo con Rivera (2013) el diseño de mezcla se realizó por peso y por volumen. A continuación, se expone de manera detallada las cantidades requeridas en una mezcla convencional para lograr la resistencia demandada.

Tabla 2. Diseño de mezcla para la dosificación 1:2 por m<sup>3</sup>.

MATERIAL	MASA(KG)	DENSIDAD	VOLUMEN(m <sup>3</sup> )	P. PESO	P. VOLUMEN
Cemento	610	3080	0,198	1	1
Agua	366	1000	0,366	0,6	1,8
A. Fino	1100	2500	0,44	1,8	2

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Diseño de mezcla para la dosificación 1:3 por m<sup>3</sup>.

MATERIAL	MASA(KG)	DENSIDAD	VOLUMEN(m <sup>3</sup> )	P. PESO	P. VOLUMEN
Cemento	515	3080	0,167	1	1
Agua	329,6	1000	0,33	0,6	2
A. Fino	1,250	2500	0,5	2,43	3

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Diseño de mezcla para la dosificación 1:4 por m<sup>3</sup>.

MATERIAL	MASA(KG)	DENSIDAD	VOLUMEN(m <sup>3</sup> )	P. PESO	P. VOLUMEN
Cemento	434	3080	0,141	1	1
Agua	290,7	1000	0,2910,57	0,7	2,1
A. Fino	1425	2500		3,28	4,0

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 5. Diseño de mezcla para la dosificación 1:5 por m<sup>3</sup>.**

MATERIAL	MASA(KG)	DENSIDAD	VOLUMEN(m <sup>3</sup> )	P. PESO	P. VOLUMEN
Cemento	373	3080	0,121	1	1
Agua	272,29	1000	0,272	0,7	2,2
A. Fino	1525	2500	0,61	4,09	5,0

Fuente: elaboración propia.

Ya que se pretende evaluar el comportamiento del grano de caucho reciclado en la composición de la mezcla, se suplió en tres porcentajes diferentes el contenido de este: 5 %, 7 % y 9%, respecto al agregado fino mezclado. El material reciclado utilizado como agregado fino en las mezclas de ensayo se adicionará de acuerdo con los porcentajes de la siguiente tabla.

**Tabla 6. Porcentaje a utilizar de GCR.**

Grano de caucho reciclado	Porcentaje utilizado
GCR Grueso (1-4) mm	75
GCR Fino (0-1) mm	25

Fuente: elaboración propia.

La decisión de utilizar estos porcentajes fue tomada por los investigadores, ya que al no contar con ningún antecedente relacionado y este ser un ensayo netamente experimental, fueron empleados estos valores.

El objetivo de estos porcentajes va encaminado a que, al poseer el GCR grueso un mayor diámetro de partículas,

esto indicaría una mayor área irregular por grano y en consecuencia favorecería la adherencia entre la mezcla y evitar posibles desmoronamientos en el adoquín. Sin olvidar que se utilizó fino para favorecer el aspecto estético del mismo.

**Evaluación de las propiedades y características de los adoquines mediante pruebas de laboratorio (prueba de absorción de agua, resistencia a flexo-tracción y compresión) conforme a lo establecido en la NTC 2017**

### Absorción de agua

Se tomaron cinco muestras de cada mezcla por dosificación para realizar la prueba de absorción de agua, cada uno de los adoquines fue designado con un número del uno al cinco y el porcentaje de material reciclado que tenía. Posteriormente, se tomó el peso seco a cada espécimen. Las muestras de ensayo se sumergieron luego durante 24 horas dentro de un recipiente lleno de agua.



Figura 11. Saturación por 24h y pesaje de los adoquines.

Cumplido este tiempo se secaron superficialmente con un trapo y sin perder tiempo se procedió al pesaje de cada adóquín saturado y superficialmente seco.

La figura 12 presenta el comportamiento obtenido entre distintos porcentajes reemplazados de GCR por agregado natural respecto a la absorción por los

adoquines, utilizando el valor promedio obtenido para esta, como indica la Norma Técnica Colombiana “los adoquines de concreto deben tener una absorción de agua total (Aa%) (Para todo el volumen del espécimen) no superior al 7 % como valor promedio para los especímenes de la muestra” (NTC, 2017).

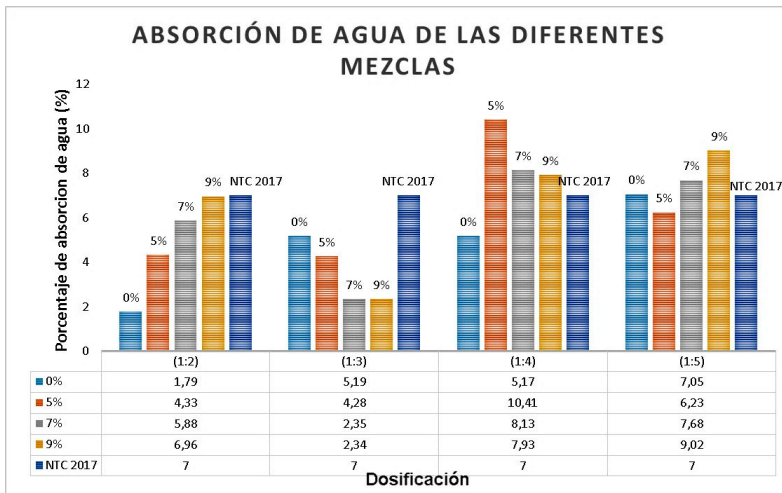


Figura 12. Comparación de absorción de agua para las diferentes mezclas.

Para interpretar los resultados se comenzó por la dosificación 1:2, la cual hace evidente que a mayor adición de GCR aumenta la absorción en los especímenes, sin embargo, la adición del material no perjudica en términos generales el resultado ya que todos valores satisfacen la norma al ser inferiores a 7%.

La dosificación 1:3 evidencia que a mayor sustitución de agregado pétreo por GCR se obtiene una menor absorción de agua por promedio de cinco especímenes, lo que indica que para esta dosificación hay mayor afinidad con el GCR en términos de adherencia, además de cumplir con la Norma Técnica Colombiana (NTC, 2017). En conclusión, esta fue la dosificación con mayor rendimiento en la prueba de absorción.

Se puede observar que la dosificación 1:4 fue la de peor rendimiento, ya que ninguna dosificación (a excepción de la testigo) cumplió con lo indicado en la norma, sin omitir que a mayor adición de GCR era menor la absorción de los adoquines.

Respecto a la última dosificación se aprecia que incluso la dosificación sin GCR adicionado (testigo) incumple con el límite máximo permisible para absorción, solo una dosificación satisface y es la de menor porcentaje sustituido. A

mayor remplazo de GCR crecía la absorción en los adoquines lo cual no es ventajoso.

### **Resistencia a la flexo-tracción (módulo de rotura)**

Una vez terminada la prueba de absorción inmediatamente se utilizaron las cinco réplicas para someterlas al ensayo de flexión (finalizada la marcación de la luz de 10 mm de lado y lado representado en la figura 3, como indica la norma para aprovechar el proceso de saturado superficialmente seco. El montaje ejecutado en esta prueba se presenta a continuación:



Figura 13. Montaje para ensayo de flexo-tracción a 28 días.

Los resultados expuestos son un resumen del proceso de cálculo posterior a la elaboración de cada ensayo en las instalaciones del laboratorio SOAL INGENIERIAS S.A.S.



Figura 14. Resultado patológico al fallar por flexión el adoquín.

Los resultados obtenidos en el ensayo del módulo de rotura para la dosificación 1:2 se esperaban más cercanos a lo exigido por la norma, ya que posee más cemento que las demás dosificaciones y solo el testigo (se esperaba que cum-

pliera) y la sustitución de 5 % de GCR excedió el valor de 4,2 Mpa. Cabe resaltar que los valores para 7% y 9% no se alejan tanto del objetivo, están muy cercanos al exigido por la norma técnica colombiana.

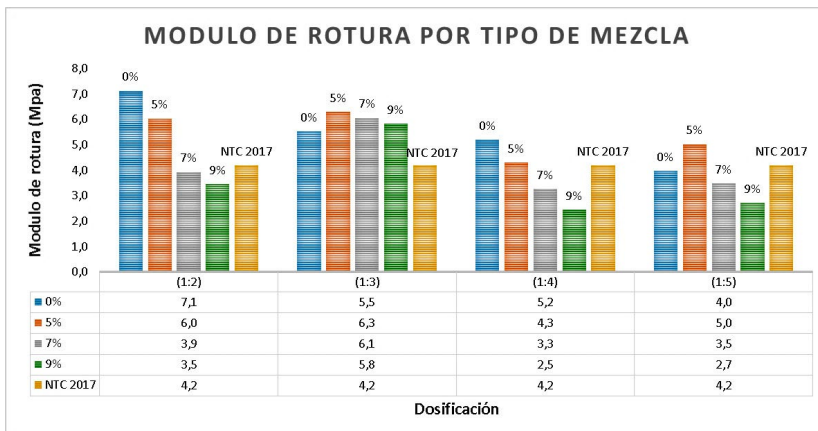


Figura 15. Comparación de las resistencias al módulo de rotura (Mr) en los adoquines.

La dosificación 1:3 evidencia que a mayor sustitución de agregado pétreo por GCR se obtuvo un módulo de rotura menor por promedio de cinco especímenes, sin embargo, superan el valor promedio del testigo lo cual no solo excede el valor, sino que también el nuevo adoquín con GCR supera los alcances de resistencia que los actuales adoquines tradicionales. De lo anterior también se puede concluir que la dispersión del ( $M_r$ ) en la sustitución del material reciclado crece conforme se sustituye mayor cantidad de GCR evidenciando rendimientos de (14,54 % para 5 %), (10,9 % para 7 %) y (5,45 % para 9 %) por encima del 5,5 Mpa del valor promedio de los testigos.

Analizando la figura 6 se observa que en la dosificación 1:4 a mayor sustitución de agregado pétreo por GCR se obtiene un módulo de rotura menor por promedio de cinco especímenes; únicamente satisface el promedio testigo lo indicado en la norma, lo cual indica que al realizar adoquines reciclados con 5 %, 7 % y 9 % a edad de 28 días no se obtiene la resistencia exigida por la norma.

Con un valor de 5,0 Mpa para la mezcla 1:5 y un contenido de 5 % de GCR, fue el único valor superior en comparación con el 4.2 Mpa exigido por la norma técnica colombiana, inclusive

por encima del valor testigo que también presentó un mal desempeño en esta prueba. Básicamente, por tener un material poco homogéneo en la mezcla de mortero, el comportamiento estructural del adoquín produce resultados muy dispersos con fallas repentinas para el módulo de rotura.

### Resistencia a la compresión

Para realizar este ensayo se tomaron las cinco réplicas respectivas por dosificación y porcentaje sustituido de GCR, para luego fallarlo en la maquina universal como se muestra en la figura 6. Cada adoquín fue designado con un número del uno al cinco y el porcentaje de material reciclado que tenían. Los adoquines fueron ensayados a la edad de 28 días, misma edad de ensayo para las pruebas anteriores.



Figura 16. Montaje para ensayo de compresión a 28 días.



Figura 17. Resultado patológico al fallar por compresión el adoquín.

Los resultados que se muestran a continuación son un resumen del proceso de cálculo posterior a la elaboración

de cada ensayo en las instalaciones del laboratorio SOAL INGENIERIAS S.A.S.

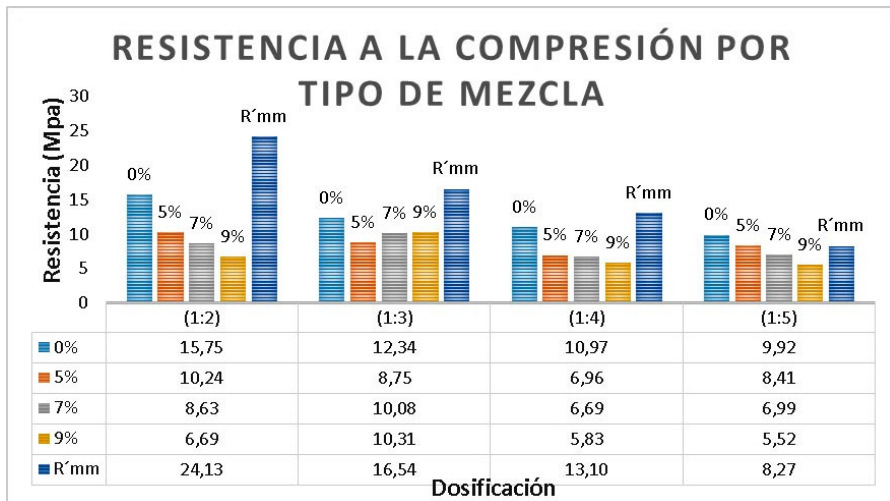


Figura 18. Comparación de las resistencias a la compresión en los adoquines.

Evaluando las muestras obtenidas a los 28 días de haberse fundido los diferentes adoquines, todas las dosificaciones resultaron insatisfactorias a la resistencia a compresión para la que fue proyectado el mortero (R´mm) al momento de emplear la metodología usada por Rivera (2013). A mayor sustitución de agregado pétreo por GCR, en general, se obtuvo una menor resistencia por promedio de cinco especímenes, no obs-

tante, se evidenció que las mezclas con contenido de agregado reciclado de 5 %, 7 % y 9 % para la dosificación 1:3 se comportaron de forma similar a la prueba por absorción de agua ( a medida que aumenta el % a sustituir de GCR, crece la resistencia), siendo indiscutible que el adoquín para la dosificación 1:3 tuvo el mejor rendimiento con la adición de GCR en todos los ensayos a los que fue sometido.

**Tabla 7. Resultados del diseño experimental (Prueba de Dunnet).**

Prueba	Dosificación	Resultado prueba Dunnet			Análisis de Resultados	
Absorción	1;2	T0 - T1	-2.54	>2.02	SIG	Hay diferencias entre tratamientos al adicionar (5.7.9)% , concluyéndose que mayor sustitución rece la absorción en los adoquines
		T0 - T2	-4.09	>2.02	SIG	
		T0 - T3	-5.18	>2.02	SIG	
	1;3	T0 - T1	2.10	>1.89	SIG	Hay diferencias entre tratamientos al adicionar (5.7.9)% , concluyéndose que mayor sustitución rece la absorción en los adoquines
		T0 - T2	2.83	>1.89	SIG	
		T0 - T3	2.84	>1.89	SIG	
	1;4	T0 - T1	-5,24	>2.19	SIG	Son significativos los tratamientos al adicionar (5.7.9)% , ya que a mayor %a sustituir decrece la absorción; pero el que se escoja no superará el testigo.
		T0 - T2	-2,96	>2.19	SIG	
		T0 - T3	-2,75	>2.19	SIG	
	1.,5	T0 - T1	0.82	<3.00	N SIG	No hay diferencia significativa entre los tratamientos 1, 2 y 3, pero si diferencias entre sí, ya que la sustitución del tratamiento 1 resultó satisfactoria en la prueba.
		T0 - T2	-0.64	<3.00	N SIG	
		T0 - T3	-1.97	<3.00	N SIG	

(Continúa)



Prueba	Dosificación	Resultado prueba Dunnet			Análisis de Resultados	
Flexotracción	1;2	T0 – T1	1.08	<1.18	N SIG	Hay significancia para los tratamientos 2 y 3, indicando que a mayor GCR, menor (Mr). Sin embargo, no hay significancia en el tratamiento 1, probando lo contrario.
		T0 – T2	3.18	>1.18	SIG	
		T0 – T3	3.66	>1.18	SIG	
	1;3	T0 – T1	-0,76	<1.46	N SIG	No hay diferencia significativa en probar (5.7.9)% ya que cualquier valor a sustituir superará el testigo
		T0 – T2	-0,50	<1.46	N SIG	
		T0 – T3	-0,30	<1.46	N SIG	
	1;4	T0 – T1	0.88	<1.17	N SIG	Hay significancia para los tratamientos 2 y 3, indicando que a menor GCR menor (Mr) Sin embargo no hay significancia en el tratamiento 1.
		T0 – T2	1.90	>1.17	SIG	
		T0 – T3	2.72	>1.17	SIG	
	1;5	T0 – T1	-1.04	>0.90	SIG	Hay significancia en los tratamientos 1 y 3, indicando que a mayor GCR menor (Mr), pero no hay significancia en el tratamiento 2, probando un valor intermedio
		T0 – T2	0.50	<0.90	N SIG	
		T0 – T3	1.24	>0.90	SIG	
Compresión	1;2	T0 – T1	5.51	>1.33	SIG	Hay diferencia significativa entre tratamientos al adicionar (5.5.9)%, concluyéndose que a mayor sustitución decrece la Compresión en los adoquines
		T0 – T2	7.13	>1.33	SIG	
		T0 – T3	9.06	>1.33	SIG	
	1;3	T0 – T1	3.79	>1.74	SIG	Son significativos los tratamientos al adicionar (5.7.9) % ya que a mayor % a sustituir crece la compresión, pero el que se escoja no superará al testigo
		T0 – T2	2.46	>1.74	SIG	
		T0 – T3	2.23	>1.74	SIG	
	1;4	T0 – T1	4.01	>1.95	SIG	Hay diferencia significativa entre tratamientos al adicionar (5.7.9) %, concluyéndose que a mayor sustitución decrece la compresión de los adoquines
T0 – T2		4.28	>1.95	SIG		
		T0 – T3	5.13	>1.95	SIG	

Fuente: elaboración propia.

De manera que los resultados obtenidos en el diseño de experimento y la aplicación de la prueba de Dunnet fueron conexos a los obtenidos experimentalmente, y en ese orden de ideas, los datos obtenidos experimentalmente se justificaron estadísticamente.

## Conclusiones

Se diseñaron cuatro dosificaciones de mezcla y fabricamos adoquines peatonales con 5 %, 7 % y 9 % de grano de caucho reciclado en proporción volumen a la arena de cada diseño, y se fabricaron adoquines sin grano de caucho reciclado

para comparar los resultados (testigos). Según la norma nacional NTC 2017 la absorción de agua para los adoquines no debe ser superior a 7 % como valor promedio de cinco especímenes; los resultados obtenidos a 28 días arrojaron que solo las dosificaciones 1:2 y 1:3 cumplan satisfactoriamente lo exigido por la norma, mientras que las dosificaciones 1:4 y 1:5 no satisfacen el valor mínimo como indica la norma (con excepción de 1:5 con 5 % de remplazo) para este caso el porcentaje de absorción tiende a ser elevado, y en consecuencia, desfavorable. Esto puede atribuirse a que las dosificaciones calculadas para 1:4 y 1:5 requieren de mayor cantidad de agregado fino para la mezcla, en términos de volumen se incrementaban los porcentajes a sustituir de (5, 7, 9) por ciento. La mezcla de diseño con mejor rendimiento según los resultados obtenidos fue la 1:3 con 9 % de GCR, seguidamente su remplazo en 7 % de GCR y luego en 5 % de GCR.

Los módulos de rotura (Mr.) más altos y en cumplimiento con la Norma Técnica Colombiana —NTC— que se alcanzaron con las pruebas realizadas a los adoquines con material reciclado, fueron los obtenidos nuevamente por de la dosificación 1:3, esta vez con 5 % de GCR, seguidamente su remplazo en 7 %

de GCR y luego en un 9 % de GCR por ciento de sustitución, superiores incluso a su muestra testigo lo que prueba que para las cantidades de material de la dosificación 1:3 el GCR aporta características especiales que contribuyen al aumento del módulo de rotura. Además, se probó que al sustituir un 5 % de GCR en las dosificaciones 1:2, 1:4 y 1:5 se satisface el valor exigido en la norma de 4,2 Mpa.

Se comprobó que al someter los adoquines al ensayo a compresión para una resistencia que fueron proyectados inicialmente, los adoquines no obtienen resultados provechosos este indicador adicional en la investigación resultó fallido.

En este orden se estableció para la investigación, que la dosificación 1:3 obtuvo las proporciones óptimas con agregados reciclados (GCR) para la fabricación de adoquines que cumplan con la norma técnica colombiana NTC 2017. Se logró cumplir con la principal motivación del proyecto, brindar una alternativa diferente para el reciclaje del caucho (material no biodegradable por el ambiente) se comprobó la hipótesis que la utilización de agregados reciclados (GCR) es de fácil aplicación en pequeñas industrias de producción de adoquines "reemplazando pequeñas cantidades"

indicando un ahorro de agregado fino; y este ahorro de materia prima (arena), ambientalmente hablando, mitiga posibles impactos a raíz de actividades como “explotación de las canteras naturales” y evita crear escenarios que sean fuente de contaminación y deterioro ambiental.

## Recomendaciones

Según Rivera (2013), emplear la dosificación 1:3 (uno de cemento por tres de arena) final del mortero para estudiar otros porcentajes mayores de sustitución, debido a que esta obtuvo los resultados óptimos y se restringió solo para 5 %, 7 % y 9 %.

Con relación al proceso de producción en los adoquines continuar con el proceso de vibro-compactación, ya que estas mezcladoras son excelentes para este tipo de mezclas y brindan homogeneidad y cohesión en los adoquines y en consecuencia, mejoran la resistencia final.

Es un factor preponderante que al realizar la mezcla de los materiales se debe realizar primero en seco, de esta forma se garantiza la homogeneidad de la mezcla durante la hidratación.

## Agradecimientos

En primer lugar a Dios, nuestra familia; a la empresa SOAL INGENIERÍA S.A.S., al ingeniero Milcíades Soto, a los ingenieros Karina Torres, Eberto

Ortega y Pedro Torres. De esta manera a todos los docentes de la facultad de ingenierías y tecnologías que de una u otra manera nos colaboraron durante el desarrollo de nuestra tesis aportando sus experiencias y amplios conocimientos para su aplicación en este trabajo.

## Referencias

- Cámara de Comercio de Bogotá. (2006). Guía Para el Manejo de Llantas Usadas,» Bogotá, D.C., Primera edición.
- Cardona y Sánchez. (2011). Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos
- Di Marco, R. M. (2015). Diseño y Elaboración de un Sistema de Adoquines de Bajo Costo y Material Reciclado para Construcciones en Núcleos Rurales. *ESAICA*, 30-38.
- Fallas, J. (2012). Análisis de varianza comparando tres o más medias.
- Fernández, C. (1995). Método Conesa simplificado.
- Montgomery, D.C. (2004). Diseño y Análisis de Experimentos, Arizona: Limusa Wiley.
- NTC. (2017). Norma Técnica Colombiana. ICONTEC.

