



# XIX

SEMANA DE LA FACULTAD DE  
**ARQUITECTURA E INGENIERÍA**  
PRODUCCIONES ACADÉMICAS E INVESTIGATIVAS DE LOS PROGRAMAS DE PREGRADO Y POSGRADO

## MUESTRA INVESTIGATIVA

Socialización proyecto de investigación.

Sustentaciones proyectos de Investigación. Socialización final de los proyectos de investigación del curso "Proyecto de Investigación" del programa Ingeniería Ambiental.

Profesor: Alejandro Builes Jaramillo y Gina Hincapié Mejía.  
Ingeniería Ambiental

al



# XIX

## SEMANA DE LA FACULTAD DE

# ARQUITECTURA E INGENIERÍA

PRODUCCIONES ACADÉMICAS E INVESTIGATIVAS DE LOS PROGRAMAS DE PREGRADO Y POSGRADO

Edición en Línea. ISSN 2357-5921 Volumen 10- No 1-2022 Publicación Semestral



Alcaldía de Medellín

# **Biorremediación de suelos contaminados por derrames de hidrocarburos en Puerto Perales Antioquia empleando “*Trichoderma harzianum*” y cáscara de naranja**

***Integrantes:***

***Jorge Luis Prada Orjuela***

***Madeleine Duarte Espinosa***

***Zuleima Andrea Tobón Gutiérrez***

***Asesor temático:***

***Laura Osorno Bedoya***

***Asesor metodológico:***

***Gina Hincapié Mejía***



# INTRODUCCIÓN

## Problema de Investigación

El derrame de hidrocarburos en suelo ocasiona el detrimento de los principales minerales presentes en el horizonte A, interrumpiendo el crecimiento de la vegetación en la superficie terrestre y a su vez contaminando aguas subterráneas. De acuerdo a esta situación se inician procesos investigativos en técnicas de biorremediación y bio-estimulación que permitan mejorar las condiciones del suelo.

En la actualidad no se tiene totalmente definidas dichas técnicas lo que conlleva ahondar en un mundo de incertidumbre y construcción del conocimiento con las bases existentes en la literatura.



# MARCO TEÓRICO

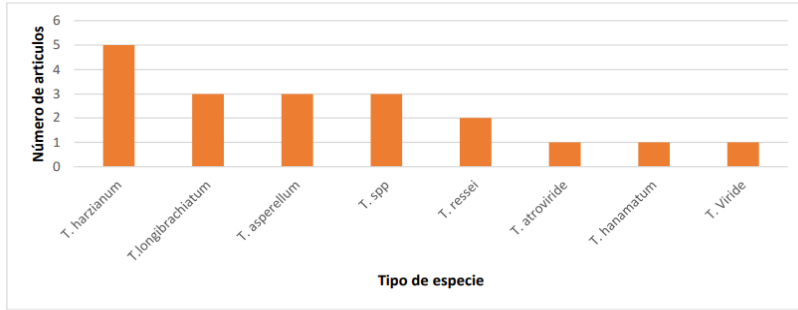


Se ha comprobado que el uso de nutrientes de origen natural es efectivo para la bioestimulación de los microorganismos. Ahora bien, se ha informado que la cáscara de naranja contiene altas cantidades de carbohidratos, vitaminas y nutrientes que pueden aumentar la actividad microbiana (Marín-Velásquez & Barrutia-Barreto, 2020).

La implementación de técnicas de biorremediación es recomendable, debido a que generalmente no altera los ecosistemas, se realiza sin atender contra ellos, es una técnica pasiva, amigable y sostenible con el ambiente (Munive et al., 2018).

# ESTADO DEL ARTE

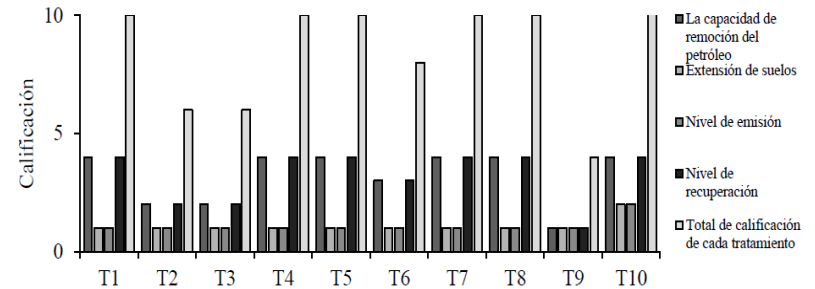
Hongo: *Trichoderma harzianum*.



Fuente: Análisis cualitativo de literatura sobre las técnicas de biorremediación de suelos por hidrocarburos y contaminantes orgánicos persistentes empleando el hongo *Trichoderma sp.*

Las especies de *T. harzianum* y *T. asperellum*, son especies potenciales en procesos de biorremediación, gracias a la capacidad de tolerar altas concentraciones de hidrocarburos e inducir la producción de enzimas como lacasa en el proceso de degradación (Wei *et al*, 2017).

## Bio-estimulante: Cáscara de naranja.



Fuente: Tratamientos biológicos y físicos en la recuperación de suelos contaminados por petróleo crudo.

Extracto hidroalcohólico de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) como bioestimulador en un suelo de sabana contaminado con petróleo con un porcentaje de remoción de 90.9 %, sin embargo ningún tratamiento recupera el suelo a su estado original ni tampoco la biodiversidad, por lo tanto, siempre va quedar suelo contaminado que tendrá que seguir siendo tratado. (Volke y Velasco, 2004)

## General

Evaluar el efecto de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos en el corregimiento de Puerto Perales, Antioquia, por medio de la aplicación de "*Trichoderma harzianum*" y cáscara de naranja.

## Específicos

- Caracterizar físico-químicamente y la concentración inicial de hidrocarburo que contiene el suelo contaminado.
- Evaluar la biorremediación mediante la combinación del suelo contaminado con cáscara de naranja y "*Trichoderma harzianum*", a través del bioindicador maíz.
- Analizar la capacidad de degradación y sinergia de la aplicación de *Trichoderma harzianum* y cáscara de naranja en el proceso de biorremediación de los suelos tratados.

# METODOLOGÍA

25 Kg suelo  
NTC  
1495:2013-04-17

11,21 %= 330,5 g  
de la mezcla final

3,98% = 91 g de  
la mezcla final

**T1:** *Trichoderma harzianum* \* 3  
**T2:** Cáscara de naranja \* 3  
**T3:** T1+T2 \* 3  
**Control** \* 3

Clasificación y  
envío al laboratorio  
para análisis



Manualmente  
se separaron  
los agregados

6 semillas por maceta  
Raleo: 8, 25 y 50 días de  
la siembra

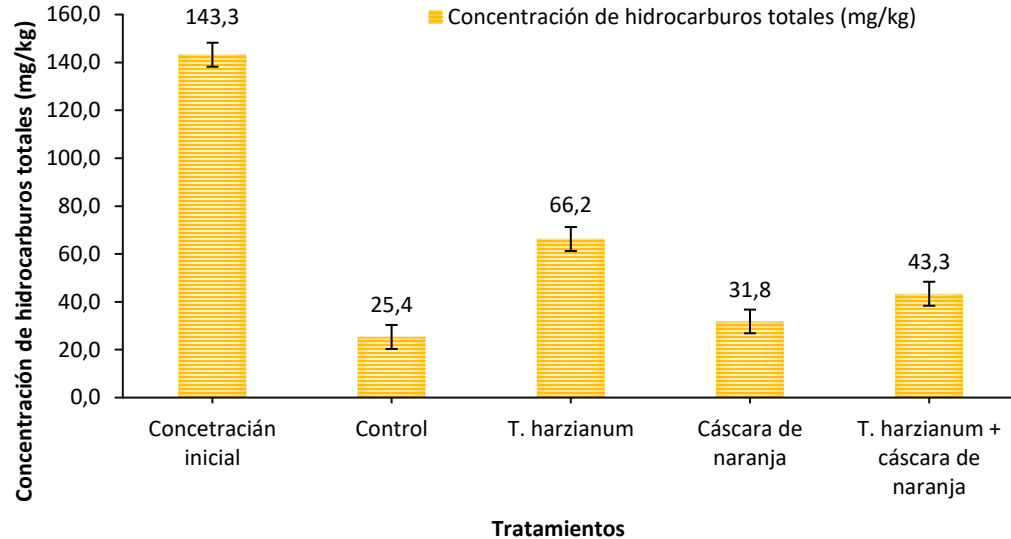
500 g MO  
1983,29 g suelo contaminado  
330,5 g cascarilla  
91 g cáscara de naranja  
Total: 2904,79 g mezcla

Desmonte a  
los 50 días

Toma de datos:  
altura y diámetro  
del tallo

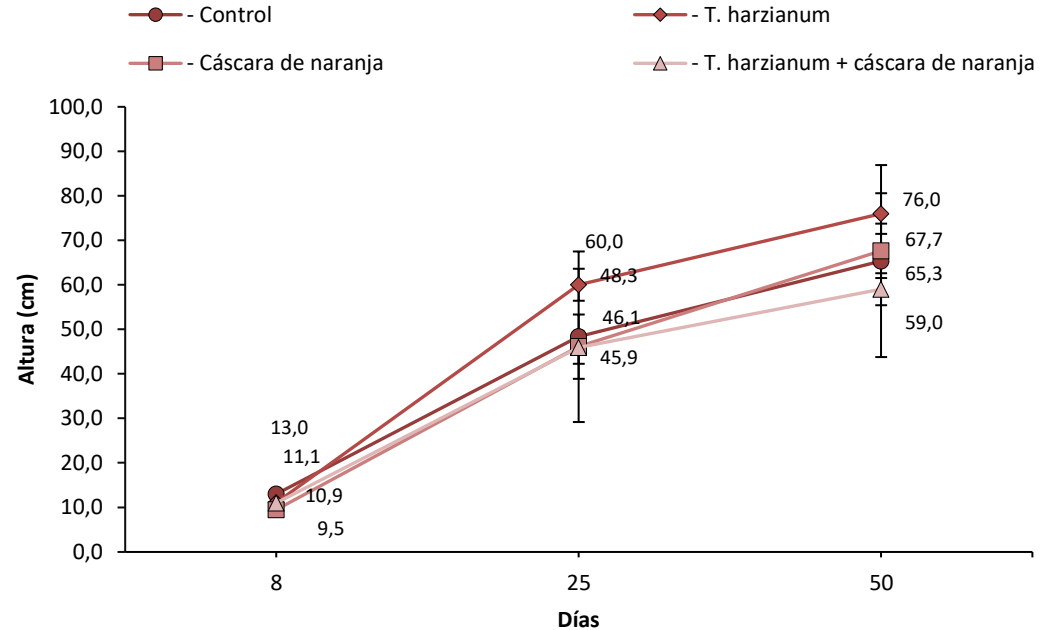


# ANÁLISIS Y RESULTADOS

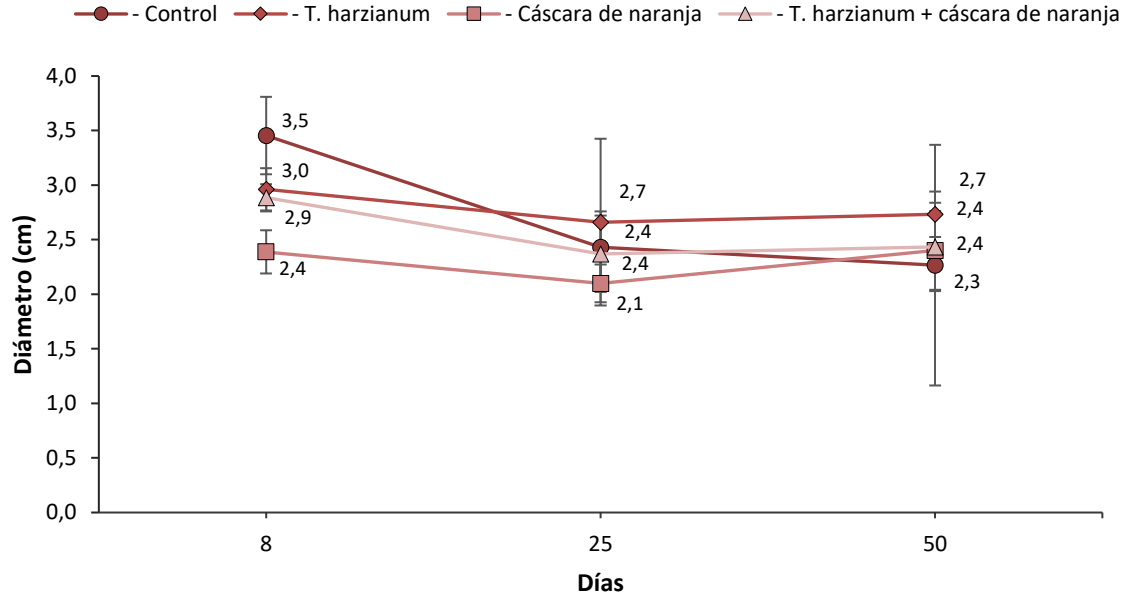


Concentración de hidrocarburos totales en los tratamientos control, *Trichoderma harzianum*, cáscara de naranja y *Trichoderma harzianum* más cáscara de naranja.



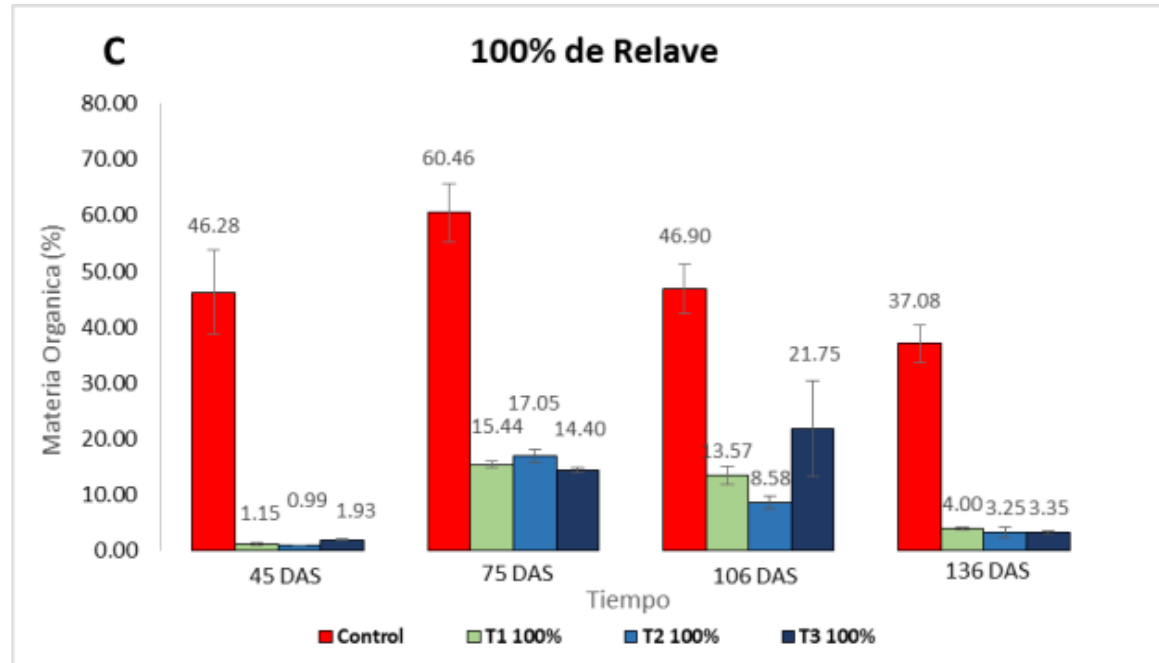


Comparativo de la altura de la planta de maíz a los 8, 25 y 50 días de crecimiento en los tratamientos control, *Trichoderma harzianum*, cáscara de naranja y *Trichoderma harzianum* más cáscara de naranja.



Comparativo del diámetro del tallo de la planta de maíz a los 8, 25 y 50 días de crecimiento en los tratamientos control, *Trichoderma harzianum*, cáscara de naranja y *Trichoderma harzianum* más cáscara de naranja.





Fuente: Capacidad de remediación de suelos contaminados con metales con maíz var. chingasino (*Zea mays l.*) asistido por bacterias promotoras del crecimiento vegetal (pgpr)”

# CONCLUSIONES

- El comportamiento presentado por las plantas durante todo el proceso fue totalmente satisfactorio a lo planeado inicialmente, durante el tiempo propuesto de 8 a 50 días las características físicas de la planta fueron presentando mejoras significativas en comparación con el control, se evidencio que la *Trichoderma harzianum* posee características especiales y resistencia a las altas concentraciones de hidrocarburo que genera un gran aporte en la bioestimulación de la planta de maíz lo cual se evidencio en los parámetros tomados en las plantas durante el transcurso del proyecto.
- El material orgánico y la cáscara de naranja brindaron su aporte como bioestimulantes en el aporte nutritivo a la planta de maíz. Por otro lado, la biorremediación que utilizó la cáscara de naranja obtuvo resultados favorables, la cáscara de naranja puede cumplir el papel de biorremediador y bioestimulante para el suelo y planta.

# CONCLUSIONES

- La planta de maíz posee un valor importante como bioindicador y biorremediador de plantas, su adaptabilidad a las altas concentraciones es realmente impresionante , su adaptabilidad durante 50 días a las concentraciones presentadas en el suelo demuestra lo mencionado, es necesario resaltar que para confirmar 100% la aplicabilidad de la planta de maíz en el proceso de biorremediación es necesario determinar la concentración de hidrocarburo presentada en su tallo, hojas y raíz. Sin embargo, diferentes fuentes bibliográficas afirman la aplicabilidad y la efectividad de esta, retiene mayor concentración del contaminante en sus raíces.
- Se confirma la efectividad en el proceso de biorremediación utilizando cáscara de naranja, el microorganismo *Trichoderma harzianum* y la planta de maíz. Sin embargo, se recomienda el aporte de bioestimulantes para poseer una mayor efectividad durante el proceso.

# Bibliografía

Wei, S. H. I., ZHANG, X. N., JIA, H. B., FENG, S. D., YANG, Z. X., ZHAO, O. Y., & LI, Y. L. (2017). Effective remediation of aged HMW-PAHs polluted agricultural soil by the combination of *Fusarium* sp. and smooth bromegrass (*Bromus inermis* Leyss.). *Journal of integrative agriculture*, 16 (1), 199-209.

Volke Sepúlveda, T., & Velasco Trejo, J. A. (2004). Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Inst. Nacional de Ecología.

Bravo , M. D. (4 de diciembre de 2016). Riesgo ambiental en el Magdalena por refinería abandonada. *EL MUNDO*. Obtenido de: [https://www.elmundo.com/portal/noticias/territorio/riesgo\\_ambiental\\_en\\_el\\_magdalena\\_por\\_refineria\\_abandonada.php#.YNfv9-hKjIU](https://www.elmundo.com/portal/noticias/territorio/riesgo_ambiental_en_el_magdalena_por_refineria_abandonada.php#.YNfv9-hKjIU)

Briffa, J., Sinagra, E., & Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, 6(9), 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>

Trujillo-Toro, M., & Ramirez-Quirama, J. (2012). Biorremediación en suelos contaminados con hidrocarburos en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 3(2), 37–48.

Velásquez-Arias, J. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1), 151–168.

# Preguntas ?

# ¡Gracias!





# XIX

SEMANA DE LA FACULTAD DE

# ARQUITECTURA E INGENIERÍA

PRODUCCIONES ACADÉMICAS E INVESTIGATIVAS DE LOS PROGRAMAS DE PREGRADO Y POSGRADO

Edición en Línea. ISSN 2357-5921 Volumen 10- No 1-2022 Publicación Semestral



INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA  
COLEGIO MAYOR  
DE ANTIOQUIA®



Alcaldía de Medellín

# Revisión bibliográfica de las metodologías para la degradación biológica de los materiales que componen las colillas de cigarrillo

*Bibliographic review of methodologies for the biological degradation of the materials that compose cigarette butts.*

## **AUTORAS:**

Nicol Andrea Toro Muñoz, Nicole Cristine Toloza Venera, María Alejandra Herrera Henao, María Camila Molina García

# OBJETIVO

Presentar a través de una revisión bibliográfica las metodologías encontradas para la degradación biológica de los materiales que componen las colillas de cigarrillo, con el propósito de ser aplicadas en el tratamiento de estos residuos.

## PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

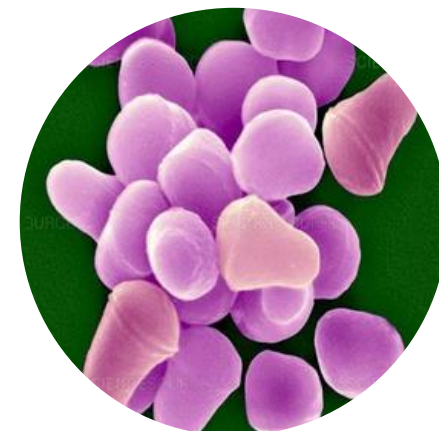
*¿Cuáles son las metodologías de tratamiento biológico más eficientes para degradar las colillas de cigarrillo completas y los materiales que las componen como el acetato de celulosa y la nicotina?*



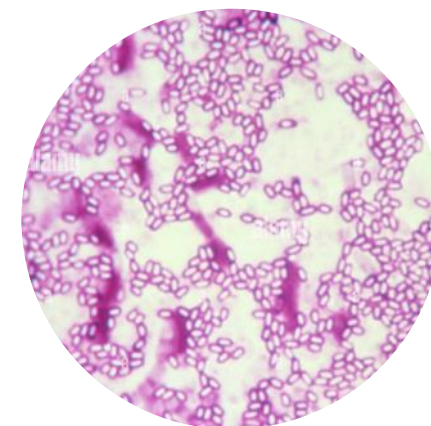
*Pseudomonas putida*



*Eisenia foetida*



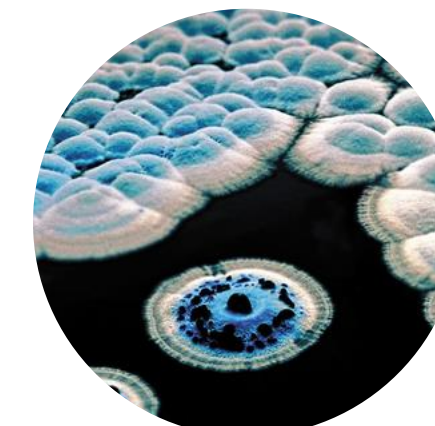
*Arthrobacter*



*Bacillus sp.*



*Agrobacterium sp.*



*Streptomyces*



*Microorganismo del suelo*

# INTRODUCCIÓN

Las colillas de cigarro son uno de los desechos más comunes en la actualidad con una generación de:



5.5 billones de colillas de cigarrillos se generan al año en todo el mundo.

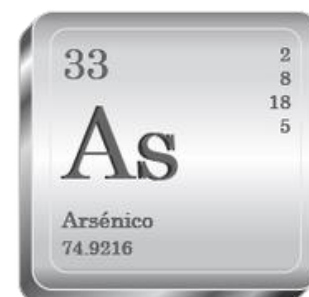


315 toneladas de colillas se generan al año en Bogotá.

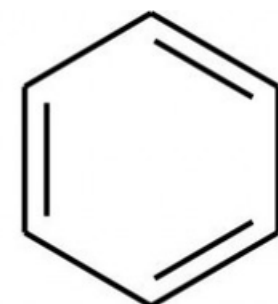


19.8 billones de cigarrillos consumidos al año en Medellín.

**Las colillas de cigarrillos contienen miles de sustancias químicas peligrosas, como:**



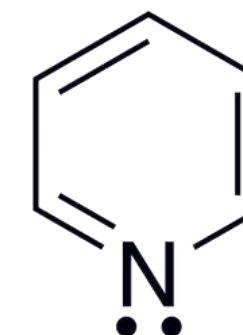
Arsenico



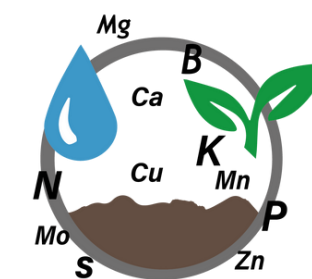
Benzeno



$\text{H}-\text{C}\equiv\text{N}$   
Cianuro de hidrógeno



Piridina



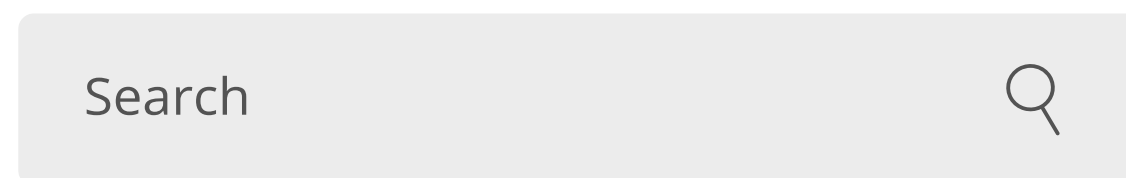
Metales pesados

# METODOLOGÍA

1 Selección de las bases de datos



2 Realizar la búsqueda por combinación de palabras clave



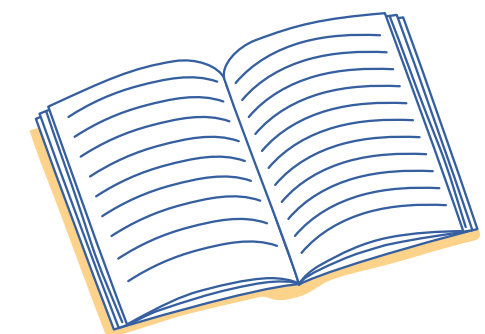
3 Selección de los artículos



4 Diseño y diligenciamiento de la ficha de revisión bibliográfica



5 Lectura y análisis



# CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LOS ARTÍCULOS

## 1 PRIMER FILTRO

*Al momento de la búsqueda en las bases de datos:*

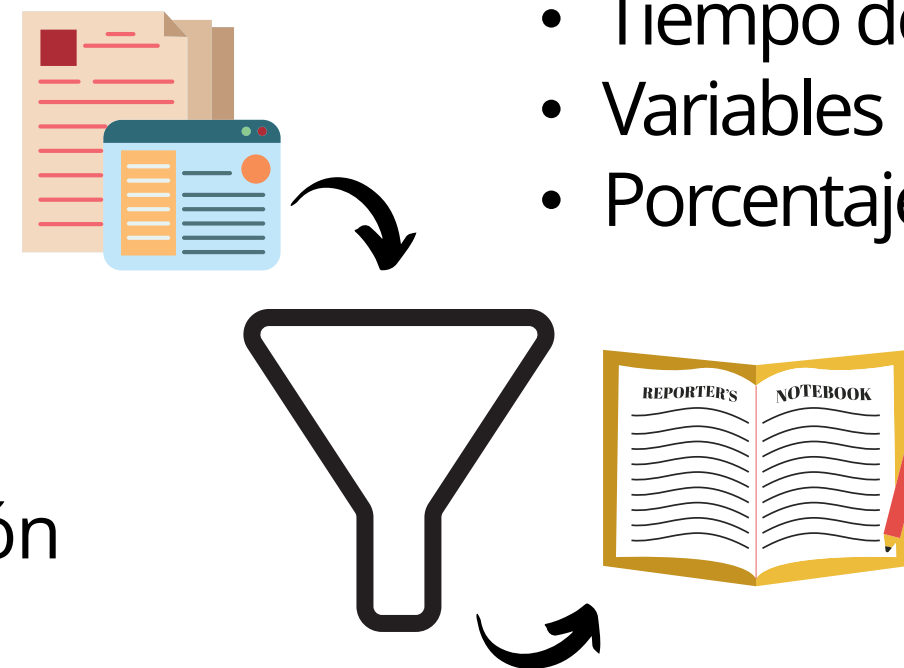
- No sobrepase los 6 años desde su publicación
- Palabras claves obligatorias: **microorganismos y cigarrillo**
- Resultados cuantitativos
- Degradación biológica

## 3 TERCER FILTRO

- Microorganismo utilizados
- Sustrato utilizado
- Menores tiempos de degradación
- Mayores porcentajes de degradación
- Producto final

## 2 SEGUNDO FILTRO

- Caracterización del material a degradar
- Pretratamiento
- Cantidad del material a degradar
- Medios de cultivo
- Condiciones de degradación (T, pH, humedad)
- In vitro (caja de petri o medio liquido)/In situ
- Tiempo de degradación
- Variables
- Porcentajes de degradación

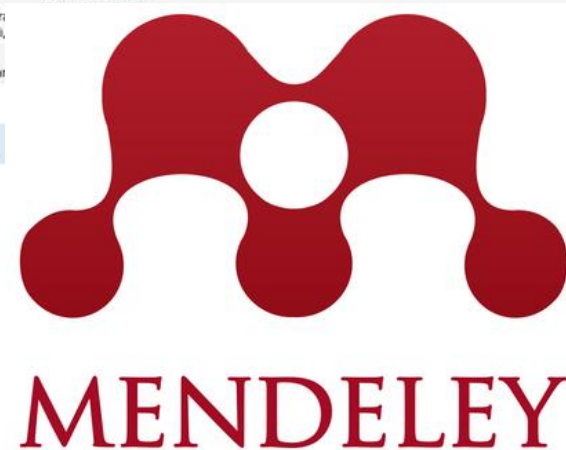


# RESULTADOS DE LA SELECCIÓN

## PRIMER FILTRO

67 artículos cumplían con los criterios - Se subieron a Mendeley

Authors	Title	Year	Published In
Enslin, Nicholas George	Identification of a cellulolytic active fungal strain , isolated from a cigarette waste microenvironment , showing preference for growth on cellulose acetate	2020	Master of Science (Science)
Park, Seon Yeong; Kim, Chang Gyun	Biodegradation of micro-polyethylene particles by bacterial colonization of a mixed microbial consortium isolated from a landfill site	2019	Chemosphere
Riad Mahmood, Haziya Afrin, Shamima Nazrin Jolly, Rasheda Yasmin Shipi Department	Isolation and Identification of Cellulose-Degrading Bacteria from Different Types of Samples	2014	World Journal of Environmental Biosciences
Bonanomi, Giuliano; Incerti, Guido; Ceserano, Gaspare; Gaglione, Salvatore A.; Lanzotti, ...	Cigarette butt decomposition and associated chemical changes assessed by13C cpmas NMR	2015	FLoS ONE
Auta, H. S.; Emenike, C. U.; Jayanthi, B.; Fauziyah, S. H.	Growth kinetics and biodeterioration of polypropylene microplastics by Bacillus sp. and Rhodococcus sp. isolated from mangrove sediment	2018	Marine Pollution Bulletin
Moroz, Ivan; Scapolo, Luiz G.B.; Cesarino, Ivana; Leão, Alcides L.; Bonanomi, Giuliano	Toxicity of cigarette butts and possible recycling solutions—a literature review	2021	Environmental Science and Pollution Research
da Cunha, Karine Marcondes; Zittel, Rosimara; da Silva, Cleber Pinto; Damiani, ...	Treatment of smuggled cigarette tobacco and food solid waste in a 2000 L facultative reactor	2018	Detritus
Janczak, Katarzyna; Hryniewicz, Katarzyna; Znajewska, Zuzanna; Dąbrowska, Grazyna	Use of rhizosphere microorganisms in the biodegradation of PLA and PET polymers in compost soil	2018	International Biodeterioration and Biod...
Pieters, Janto	Identification and biochemical characterisation of an aryl-β-glucosidase isolated from a cellulose-acetate rich environment via a functional metagenomic approach	2018	Stellenbosch University
Näkki, Pinja; Eronen-Rasimus, Eeva; Kaartokallio, Hermann; Kankaanpää, Harri; ...	Polycyclic aromatic hydrocarbon sorption and bacterial community composition of biodegradable and conventional plastics incubated in coastal sediments	2021	Science of the Total Environment
Liu, Jiani; Ma, Guanghui; Chen, Tao; Hou, Ying; Yang, Shihua; Zhang, Ke Qin; Yang, Ji... Das, Nilanjana; Das, Devlina	Nicotine-degrading microorganisms and their potential applications Strategies for remediation of polycyclic aromatic hydrocarbons from contaminated soil - An overview	2015	Journal of Critical Reviews
Yi, Meiling; Zhou, Shaohong; Zhang, Lilan; Ding, Shiyuan	The effects of three different microplastics on enzyme activities and microbial communities in soil	2021	Water Environment Research
Bonanomi, Giuliano; Incerti, Guido; Cesarano, Gaspare; Gaglione, Salvatore A.; Lanzotti, Zittel, Rosimara; da Silva, Cleber Pinto; Domingues, Cinthia Eloise; Seremeta, Dar Wang, S. N.; Liu, Z.; Xu, P.	2015 FLoS ONE 2020 Science of the Total Environment 2009 Journal of Applied Microbiology	2015 2020 2009	FLoS ONE Science of the Total Environment Journal of Applied Microbiology
Korobushkin, Daniil I.; Garibian, Petr G.; Pelgunova, Lyubov A.; Zaitsev, Andrey S.	2020 Soil Biology and Biochemistry	2020	Soil Biology and Biochemistry



## SEGUNDO FILTRO

52 artículos cumplían con los criterios - Se diligenció la información en la ficha

Nro.	Autor	Título	Materia a degradar	Procedimiento	Caracterización del microorganismo	Forma de cultivo	Condición de cultivo (temperatura, humedad, etc.)	Microorganismos que crecieron	En qué etapa del proceso se realizó el estudio	Medios de cultivo (identificación de los microorganismos)	Condiciones de degradación (T, pH, luz, etc.)	Temperatura (°C)	Variables
1	Enslin, Nicholas George	Identification of a cellulolytic active fungal strain , isolated from a cigarette waste microenvironment , showing preference for growth on cellulose acetate	Cellulose acetate	Se realizó un cultivo en agar de celulosa acetato y se observó el crecimiento de un hongo blanco que se caracterizó por su capacidad de degradar la celulosa acetato.	Se realizó un cultivo en agar de celulosa acetato y se observó el crecimiento de un hongo blanco que se caracterizó por su capacidad de degradar la celulosa acetato.	Agar de celulosa acetato	25°C	Aspergillus niger	Etapa de identificación	Agar de celulosa acetato	25°C	25°C	Se realizó un cultivo en agar de celulosa acetato y se observó el crecimiento de un hongo blanco que se caracterizó por su capacidad de degradar la celulosa acetato.
2	Park, Seon Yeong; Kim, Chang Gyun	Biodegradation of micro-polyethylene particles by bacterial colonization of a mixed microbial consortium isolated from a landfill site	Micro-polyethylene particles	Se realizó un cultivo en agar de micro-polietileno y se observó el crecimiento de un consorcio microbiano que se caracterizó por su capacidad de degradar las partículas de micro-polietileno.	Se realizó un cultivo en agar de micro-polietileno y se observó el crecimiento de un consorcio microbiano que se caracterizó por su capacidad de degradar las partículas de micro-polietileno.	Agar de micro-polietileno	25°C	Consortio microbiano	Etapa de identificación	Agar de micro-polietileno	25°C	25°C	Se realizó un cultivo en agar de micro-polietileno y se observó el crecimiento de un consorcio microbiano que se caracterizó por su capacidad de degradar las partículas de micro-polietileno.
3	Riad Mahmood, Haziya Afrin, Shamima Nazrin Jolly, Rasheda Yasmin Shipi Department	Isolation and Identification of Cellulose-Degrading Bacteria from Different Types of Samples	Cellulose	Se realizó un cultivo en agar de celulosa y se observó el crecimiento de varias bacterias que se caracterizaron por su capacidad de degradar la celulosa.	Se realizó un cultivo en agar de celulosa y se observó el crecimiento de varias bacterias que se caracterizaron por su capacidad de degradar la celulosa.	Agar de celulosa	25°C	Bacillus subtilis, Streptococcus sp.	Etapa de identificación	Agar de celulosa	25°C	25°C	Se realizó un cultivo en agar de celulosa y se observó el crecimiento de varias bacterias que se caracterizaron por su capacidad de degradar la celulosa.
4	Bonanomi, Giuliano; Incerti, Guido; Ceserano, Gaspare; Gaglione, Salvatore A.; Lanzotti, ...	Cigarette butt decomposition and associated chemical changes assessed by13C cpmas NMR	Cigarette butts	Se realizó un estudio de degradación de los botavillos de cigarrillos y se analizaron los cambios químicos asociados mediante espectroscopía de masas.	Se realizó un estudio de degradación de los botavillos de cigarrillos y se analizaron los cambios químicos asociados mediante espectroscopía de masas.	Botavillos de cigarrillos	25°C	Consortio microbiano	Etapa de degradación	Botavillos de cigarrillos	25°C	25°C	Se realizó un estudio de degradación de los botavillos de cigarrillos y se analizaron los cambios químicos asociados mediante espectroscopía de masas.
5	Auta, H. S.; Emenike, C. U.; Jayanthi, B.; Fauziyah, S. H.	Growth kinetics and biodeterioration of polypropylene microplastics by Bacillus sp. and Rhodococcus sp. isolated from mangrove sediment	Polypropylene microplastics	Se realizó un estudio de crecimiento y biodeterioración de microplásticos de polipropileno por bacterias aisladas de sedimentos de manglar.	Se realizó un estudio de crecimiento y biodeterioración de microplásticos de polipropileno por bacterias aisladas de sedimentos de manglar.	Agar de polipropileno	25°C	Bacillus sp., Rhodococcus sp.	Etapa de crecimiento	Agar de polipropileno	25°C	25°C	Se realizó un estudio de crecimiento y biodeterioración de microplásticos de polipropileno por bacterias aisladas de sedimentos de manglar.

Ficha revisión bibliográfica **.XLSX**  
 Archivo Editar Ver Insertar Formato

## TERCER FILTRO

7 artículos cumplían con los criterios

Nro.	Título	Microorganismos utilizados	Materias a degradar	Sustrato Utilizado	Tiempo de degradación	Porcentaje de degradación	Producto final
2	Comparison of cellulose vs. plastic cigarette filter decomposition under distinct disposal environments	Microorganismos presentes en el suelo y en el compost	Colillas de cigarrillo de celulosa y de plástico	Compost de materia orgánica en su fase termófila y suelo común	224 días	Suelo Ahumado 10.9% No ahumado 4.6% Compost Ahumado 49.2% No ahumado 83.9%	Material degradado
7	Composting of smuggled cigarettes tobacco and industrial sewage sludge in reactors: Physicochemical, phytotoxic and spectroscopic study	Microorganismos degradadores de materia orgánica	Residuos de tabaco	Lodos de depuradora industrial, residuos de tabaco, poda de jardín y aserrín	180 días	N/A	Compost para plantas ornamentales que cumple con los parámetros establecidos
4	The earthworm species Eisenia fetida accelerates the decomposition rate of cigarette butts on the soil surface	Eisenia Fetida	Colillas de cigarrillo fumadas y no fumadas	Suelo del horizonte A mixto de sodpodzolo	70 días	35% - 40%	Reducción de la toxicidad de las colillas de cigarrillo
3	Availability of nutrients, removal of nicotine, heavy metals and pathogens in compounds obtained from smuggled cigarette tobacco compost associated with industrial sewage sludge Rosimara	Pseudomonas y Arthrobacter	Nicotina y metales pesados de las colillas de cigarrillo	Los lodos de depuradora de la estación de tratamiento de efluentes de una planta procesadora de alimentos.	180 días	Nicotina: R1 - 72.6% R2 - 96.4% R3 - 99.6%	fertilizante orgánico
5	Biodegradation of nicotine by a newly isolated Agrobacterium sp. strain 533	Agrobacterium sp	Nicotina de los residuos sólidos del tabaco.	0.5 ml de solución de algaelementos complementada con (S)-nicotina (comprada a Fluka, Buchs, Switzerland, 99% de pureza; concentración final 1.0g/L)	7h	N/A	Reducción de la concentración 30mg/g de nicotina a casi 0 mg/g en 7h de exposición a Agrobacterium Sp.
6	The structural and functional contributions of β-glucosidase-producing microbial communities to cellulose degradation in composting	chryso sporium , Streptomyces griseorubens C-5, Bacillus subtilis W1, Bacillus methylotrophicus W8 y Bacillus anyiloliquefaciens X9, P. chryso sporium	Nicotina de los residuos sólidos del tabaco.	Se aisló del suelo en la provincia china de Heilongjiang.	48 días	C 182.57%, C2 67.1%, C3 42.54%	Compostaje con residuos de tabaco
7	Isolation and Identification of Cellulose-Degrading Bacteria from Different Types of Samples	Bacillus sp, Streptomyces viridobrunneus y Pseudomonas sp, Staphylococcus aureus y S. epidermidis, Salmonella sp	Celulosa de los residuos de tabaco	Tubos de ensayo esteriles, Las placas de agar CMC incubadas con los aislados bacterianos se inundaron con una solución de rojo Congo al 0,1% durante 20 minutos.	1 día	57%	Celulosa degradada

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## Degradación de la colilla de cigarrillo completa

Se encontró que sólo dos artículos realizan esta degradación sin generar ningún tipo de separación o pretratamiento que altere la estructura inicial de la colilla.



**% degradación Suelo**  
 Fumado **10.9%**  
 No fumado **4.6%**  
**% degradación Compost**  
 Fumado **49.2%**  
 No Fumado **83.9%**

**TIEMPO: 224 días**

1

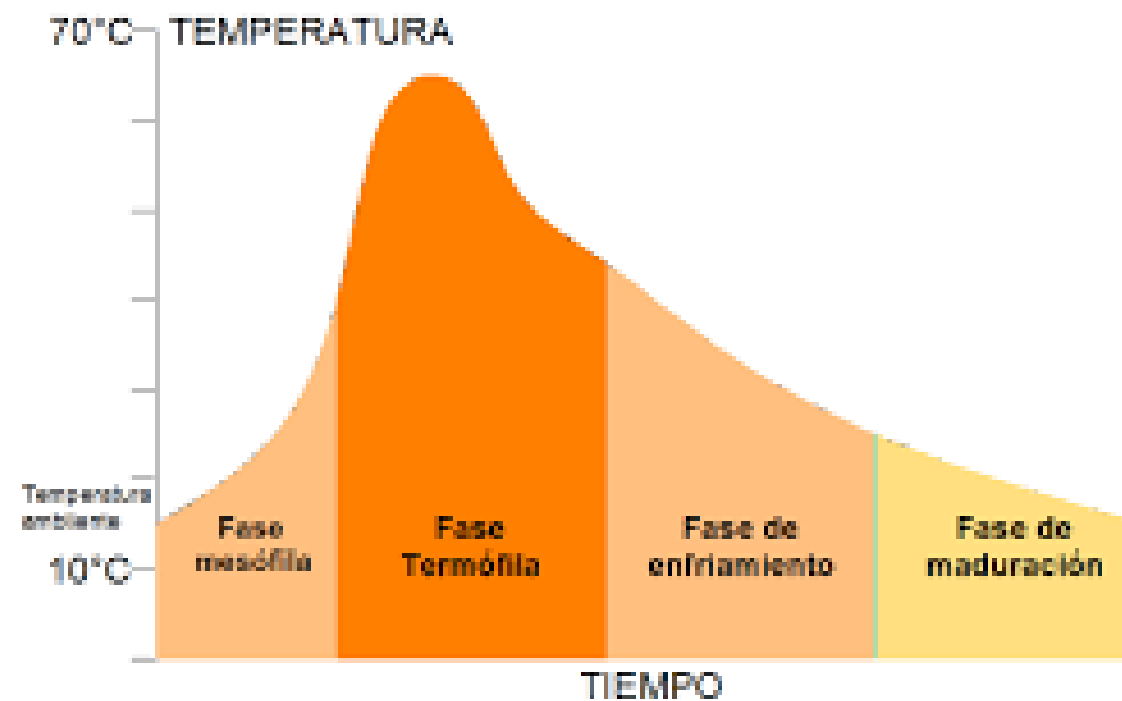


**% Degradación**  
**35% - 40%**

**TIEMPO: 70 días**

2

### FASES DEL COMPOSTAJE



### Sustratos utilizados

- Compost de materia orgánica en su fase termófila y suelo común.
- Suelo del horizonte A mixto de sodpodzólío

### Microorganismos utilizados



*Eisenia foetida*



*Microorganismo del suelo*



# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## Degradación del Acetato de Celulosa

Dentro de la literatura encontramos tres artículos, uno basado en los filtros de acetato de celulosa (plástico) y filtros hechos de celulosa (celulosa) y dos solo de celulosa.



**Tipo de filtro**  
Celulosa 66.5%  
Plástico 16.9%

**TIEMPO**  
32 semanas

1



**Material degradado**  
Celulosa 62.57%  
Hemicelulosa 67.14%  
Lignina 42.54%

**TIEMPO**  
46 días

2

**Material degradado**  
Celulosa 62%

**TIEMPO**  
44 días

3

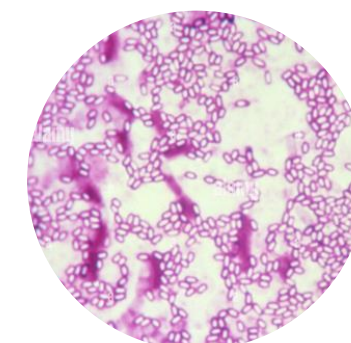
### Sustratos utilizados

- Aserrín, residuos de cocina y sustancias del suelo.
- Superficie del suelo de un antiguo campo mediterráneo.
- Mezcla de abono verde hecho de madera ramificada astillada y compost orgánico maduro.
- Compostaje aeróbico de estiércol de ganado y paja de arroz.

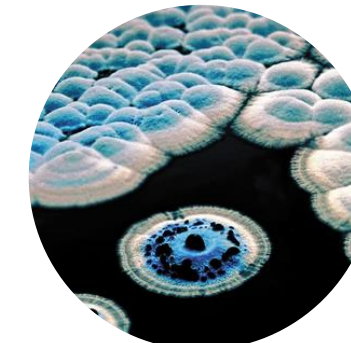
### Microorganismos utilizados



*Pseudomonas putida*



*Bacillus sp.*



*Streptomyces*



Microorganismo del suelo

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## Degradación de la Nicotina

Para la degradación de la nicotina se encontraron dos artículos, el primero se realizó por medio de reactores con una mezcla de sustrato y en el segundo se realizó en un medio de cultivo que contenía: nicotina, glucosa y amonio.

1



TIEMPO  
180 días

2



% degradación  
100%

TIEMPO  
7 horas

% degradación

R1 - 72,6%

R2 - 96,4%

R3 - 99,6%

Relación C/N

R1 (18,6); R2 (15.5);

R3 (20.1)

### Sustratos utilizados

- Lodos de depuradora de una planta procesadora de alimentos
- Compost de aserrín y poda de jardín

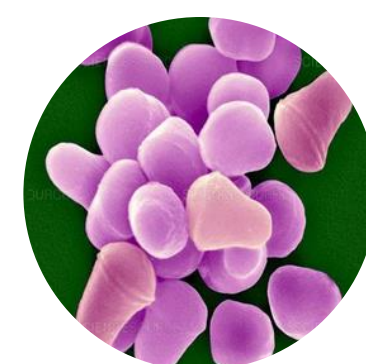
### Microorganismos utilizados:



*Pseudomonas putida*



*Agrobacterium sp.*



*Arthrobacter*

# CONCLUSIÓN

En el compostaje en su fase madura hay microorganismos como *Pseudomonas sp* y *Arthrobacter* que son bacterias que poseen propiedades para la degradación de nicotina, bacterias celulolíticas como *Bacillus sp.* y algunas cepas de *Aspergillus flavus* y *Streptomyces* que son degradadoras eficientes del polietileno, el cual es un tipo de plástico y lombrices de tierra las cuales pueden descomponer grandes cantidades de materia orgánica, además de que son usadas regularmente en procesos de biorremediación de suelos contaminados con numerosas sustancias químicas y metales pesados. Por eso las metodologías que utilicen este sustrato son las mejores para obtener los mayores porcentajes de degradación de las colillas de cigarrillo y los materiales que la componen en menos tiempo.

# REFERENCIAS



*Código QR para consultar las referencias*



# XIX

## SEMANA DE LA FACULTAD DE

# ARQUITECTURA E INGENIERÍA

PRODUCCIONES ACADÉMICAS E INVESTIGATIVAS DE LOS PROGRAMAS DE PREGRADO Y POSGRADO

Edición en Línea. ISSN 2357-5921 Volumen 10- No 1-2022 Publicación Semestral



Alcaldía de Medellín

## Revisión bibliográfica:

# Usos de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales en material vegetal.

### Integrantes:

María Camila Londoño Saldarriaga  
Santiago Garcés Valencia  
Manuela Orozco Vélez

Ingeniería Ambiental  
Colegio Mayor De Antioquia  
Medellin, Colombia

### Asesor temático:

Laura Osorno Bedoya

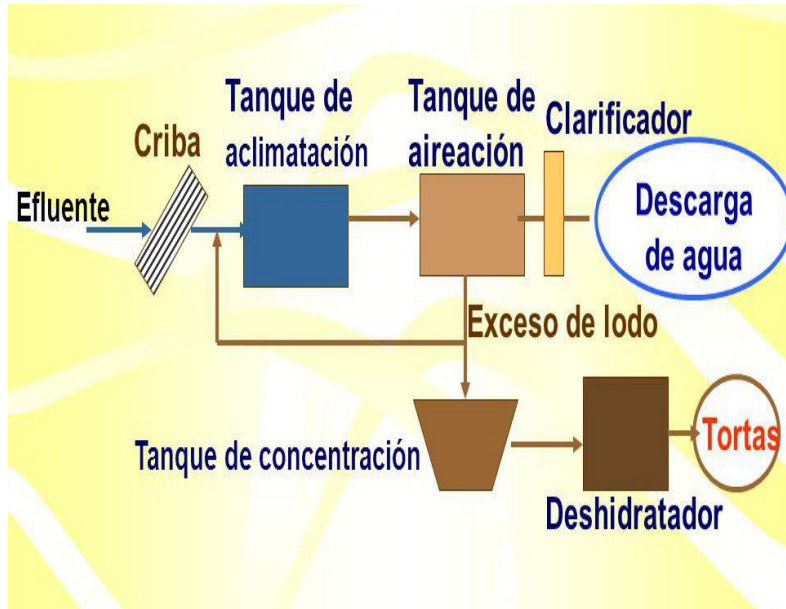
### Asesor Metodológico:

Gina Hincapié Mejía

# Introducción



# Introducción



<https://encrypted-tbn>

<https://tierraverdeservicios.cl>



Parámetro	Unidad	Lodo	Biosólido
pH	Unidad	5-8	6.5-7.5
Alcalinidad	Mg de Ca CO <sub>3</sub>	500-1500	2500-3500
Nitrógeno	% de ST	1,5-4	1,6-6
Fósforo	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % de ST	0,8-2,8	1,5-4
Aceites y grasas	% de ST	6-30	5-20
Proteínas	% de ST	20-30	15-20
Ácidos orgánicos	Mg L <sup>-1</sup>	6800-10000	2700-6800
Sólidos totales	%	2-8	6-12
Sólidos volátiles	% de ST	60-80	30-60

**Tabla 1.** Comparación de parámetros entre lodos y biosólidos. Tomado de Henriquez, o. (2011)

# Planteamiento del problema



# Objetivos

## General

Realizar una síntesis sobre los Biosólidos en Colombia: ventajas, normas, usos, aplicaciones y análisis en el crecimiento y desarrollo de plantas.

## Específicos

- Realizar una recopilación acerca de la normatividad del uso de biosólidos a nivel mundial.
- Evaluar el uso y aplicación de biosólidos en la agricultura.
- Relacionar la viabilidad económica y ambiental del uso y aplicación de biosólidos en la ingeniería.

# Metodología



Palabras clave:

- Biosolids
- Agriculture
- Sludge

Ingles-Español  
2017-2022

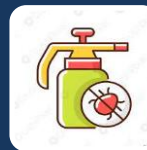
# Características reguladas según la norma

Contaminante mg/kg	Colombia (1)	EEUU (2)	Unión Europea (2)	NORMA EPA 40CFR- 503 PC-EQ QUALITY	Límites recomendados 86/278/CEE
Arsénico	0,47	4,9	Nd	41	No regulado
Cadmio	2,78	25	4	39	20-40
Cobre	180	616	380	1500	1.000 – 1.750
Cromo	849	178	145	No regulado	No regulado
Mercurio	0,85	2.3	2.7	17	16-25
Níquel	65,4	71	44	420	300-400
Plomo	84	204	97	300	750-1.200
Selenio	0,46	6	Nd	100	No regulado
Zinc	966,3	1285	1.000	2.800	2.500-4.000

**Tabla 2.** Características químicas de los biosólidos de Colombia y su comparación con biosólidos de EE. UU. y la UE. Tomado de Cerón, A. (2017)



Materia orgánica



Contaminante orgánico



Agentes patógenos

# Usos de los biosólidos según su clasificación

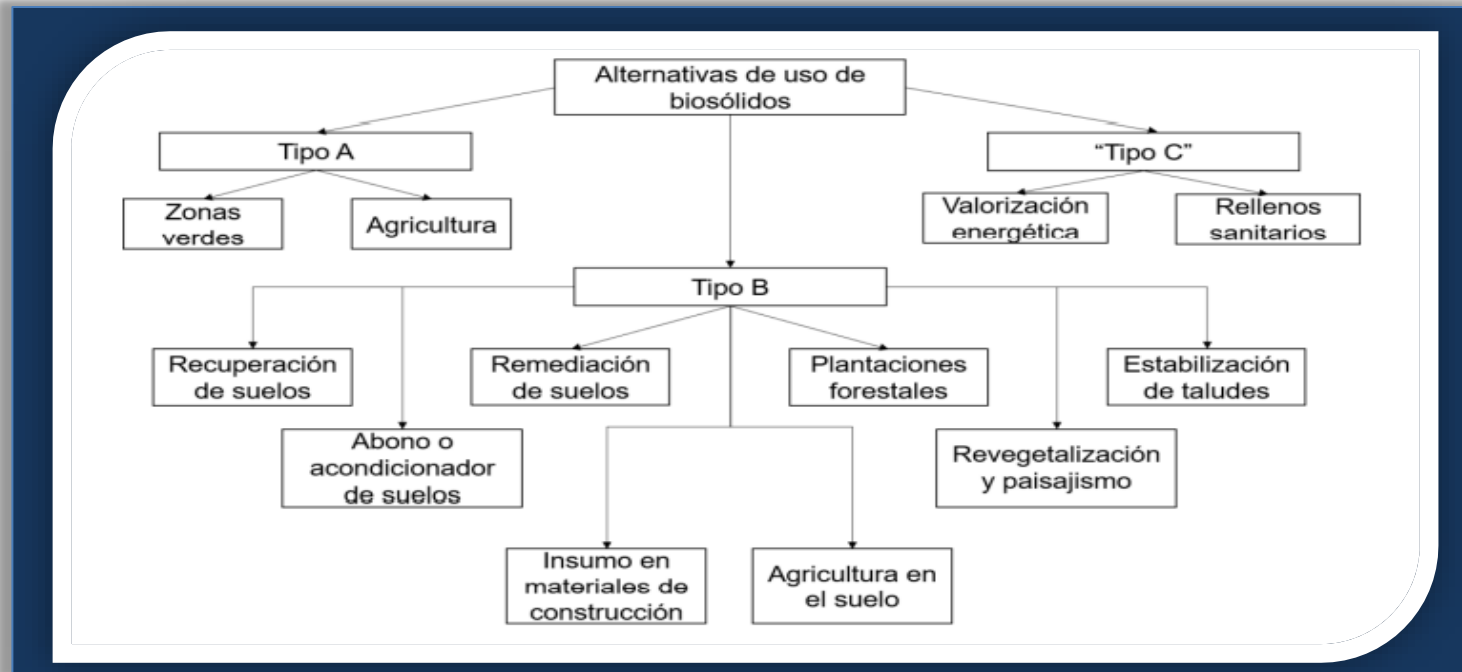


Figura 1. Usos de los Biosólidos en Colombia. Tomado de (Rincón, S., 2019)

# Resultados

LODO	DOSIS DE SUELO	PLANTA	TIEMPO	PROPIEDAD DEL SUELO	REFERENCIA
Planta de tratamiento nuevo león en México.	300Kg	Maíz y Sorgo.	3 meses de experimento.	Feozem calcarico castañozem, Suelo oscuro rico en materia orgánica y nutrientes.	<a href="http://eprints.uanl.mx/1005/1/1080124432.PDF">http://eprints.uanl.mx/1005/1/1080124432.PDF</a>
Finca El Rutal, al norte de Santiago.	105 plantas de espino de dos años. se colocaron en macetas de 10 litros.	Plantas de <i>Acacia caven</i> "espino"	69 días de experimento.	Serie Rungue, Vertic Haploxerolls (Mollisols), CIREN.	<a href="https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S0718-16202015000200013&amp;lang=es">https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S0718-16202015000200013&amp;lang=es</a>
Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Coyhaique.	1.2kg de suelo mezclado completamente con lodo.	Lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> L.) y ballica anual ( <i>Lolium multiflorum</i> Lam.) cv. Winter Star.	2 meses de experimento.	Criofluvente Andic y Ultic Palexeralf Entisol y alfisol.	<a href="https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S0718-58392008000300007&amp;lang=es">https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S0718-58392008000300007&amp;lang=es</a>
Suelo entre 0-20 cm de profundidad en un área cercana a Chillán), Región del Bio-Bio.	36kg de suelo.	Cultivado con ballica híbrida ( <i>Lolium x hybridum</i> Hausskn.)	6 meses.	Ultic Palexeralfs fino, caolinífticas, térmico, comúnmente textura arcillosa, granito, baja infiltración de agua en el perfil, vegetación baja y topografía de colinas onduladas.	<a href="https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S0718-58392012000400017">https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S0718-58392012000400017</a>
Lodo de depuradora de la planta de tratamiento de aguas residuales del condado de Rudong.	Diseño de bloques completos al Azar (RCB) con cada parcela de 4 m de largo y 4m de ancho.	El maíz ( <i>Zea mays</i> L.)	12 meses.	El suelo predominante es franco limoso y es un suelo típicamente afectado por la sal.	Bai, Y., Zuo, W., Yan, Y., Gu, C., Guan, Y., Mei, L., Xue, W., Shan, Y., & Feng, K. (2017).

**Tabla 3.** Comparación del comportamiento de los biósolidos. Elaboración propia.

# Viabilidad económica



<http://www.seapal.gob.mx>



<https://media.revistagq.com>



# Conclusiones

- Dentro de cada uno de los experimentos se presentaron resultados positivos o medianamente positivos que evidencia cada vez más conocimiento de la aplicabilidad de los biósólidos
- Es importante tener en cuenta la cantidad de metales pesados que pueden surgir de los diferentes tratamientos para así resolver si la aplicación de estos va a ser fructífera.
- Los biósólidos pueden ser una alternativa más amigable que se debe contemplar más a menudo por la agricultura para mitigar el impacto de los químicos y así darles solución a los problemas de las plantas residuales con respecto a la disposición de estos mismos.

# Referencias

- Ávila Benito, L. C. (2020). *Síntesis de biosólidos en Colombia: Definición, ventajas, usos y aplicaciones en la ingeniería a través de una revisión bibliográfica*. 52.
- Chow, H. Y., & Pan, M. (2020). Fertilization Value of Biosolids on Nutrient Accumulation and Environmental Risks to Agricultural Plants. *Water, Air, and Soil Pollution*, 231(12). <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04946-8>
- Cerón, A. R. M., González, A. R., & Guzmán, J. M. G. (2017). Manejo de Biosólidos y su posible aplicación al suelo, caso Colombia y Uruguay. *Revista de investigación agraria y ambiental*, 8(1), 217-226.
- Cuevas, J., Seguel, O., Ellies Sch, A., & Dörner, J. (2006). Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencias a la adición de lodos urbanos. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 6(2), 1-12.
- En, A., Ingeniería, L. A., Una, A. T. D. E., Bibliográfica, R., Camila, L., Benito, Á., & Tomás, U. S. (2020). *No Title*.
- Álvarez-Campos, O., & Evanylo, G. K. (2019). Biosolids improve urban soil properties and vegetable production in urban agriculture. *Urban Agriculture & Regional Food Systems*, 4(1), 1-11.
- Álvarez-Campos, O. M. (2019). *Assessment of exceptional quality biosolids for urban agriculture* (Doctoral dissertation, Virginia Tech)
- Henríquez, O. de las M. H. (2011). Análisis y criterios mínimos para la aplicación de lodos tratados provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas en agrosistemas de la provincia de Melipilla, región metropolitana, Chile. Universidad de Chile. Retrieved from [http://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/Henriquez Olivia.pdf](http://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/Henriquez%20Olivia.pdf)
- Kumar, V., Chopra, A. K., & Kumar, A. (2017). A Review on Sewage Sludge (Biosolids) a Resource for Sustainable Agriculture. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 2(4), 340-347. <https://doi.org/10.26832/24566632.2017.020417>
- Mohajerani, A., & Karabatak, B. (2020). Microplastics and pollutants in biosolids have contaminated agricultural soils: An analytical study and a proposal to cease the use of biosolids in farmlands and utilise them in sustainable bricks. *Waste Management*, 107, 252-265. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.04.021>
- Manjarrés-hernández, E. H., Castellanos-rozo, J. M., & Merchán-castellanos, N. A. (n.d.). *Uso de biosólidos en Colombia : métodos de estabilización y aplicaciones a nivel agrícola Use of biosolids in Colombia : methods of stabilization and applications at*. 9-28.
- Paz-Ferreiro, J., Nieto, A., Méndez, A., Askeland, M. P. J., & Gascó, G. (2018). Biochar from biosolids pyrolysis: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/ijerph15050956>
- Santacoloma-Londoño, S., Buitrago-González, M., Colorado-Molina, K., Suárez-Pineda, I., Martínez-Martina, M., & Villegas-Méndez, L. (2020). Agricultural Use of Biosolids Generated in Wastewater Treatment of a Food Industry. *Revista Facultad de Ingeniería*, 29(54), e10666. <https://doi.org/10.19053/01211129.v29.n54.2020.10666>
- Sharma, B., Sarkar, A., Singh, P., & Singh, R. P. (2017). Agricultural utilization of biosolids: A review on potential effects on soil and plant grown. *Waste Management*, 64, 117-132. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2017.03.002>
- Stacey, N. E., Lewis, R. W., Davenport, J. R., & Sullivan, T. S. (2019). Composted biosolids for golf course turfgrass management: Impacts on the soil microbiome and nutrient cycling. *Applied Soil Ecology*, 144(July), 31-41. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.06.006>
- Suárez López, D., Morales Espinosa, R., Cordero Gutierrez, I., & Schreiner de Oliveira, L. (2017). Diseño de una herramienta de medición de ruidos basados en tecnologías Arduino-Raspberry Pi. *Producción + Limpia*, 12(1), 81-87. <https://doi.org/10.22507/pml.v12n1a8>
- Torres Valencia, L. P. (2019). Desarrollo de una metodología para la identificación de alternativas de manejo de los biosólidos de la planta de tratamiento de agua residual de Cañaveralejo (PTAR-C) de Santiago de Cali. *Universidad Autónoma de Occidente*, 1(1), 1-77. <http://red.uao.edu.co/handle/10614/11376>
- Torri, S. I., Correa, R. S., & Renella, G. (2017). Biosolid application to agricultural land—a contribution to global phosphorus recycle: a review. *Pedosphere*, 27(1), 1-16.
- *Universidad autónoma de nuevo león*. (2001).
- Ospina López, F. A., Rodríguez González, A., & González Guzmán, J. M. (2017). Comparación de la reglamentación para el manejo de lodos provenientes de agua residual en Argentina, Chile y Colombia. *Revista de investigación agraria y ambiental*, 8(1).

- Collivignarelli, M. C., Abbà, A., Frattarola, A., Carnevale Miino, M., Padovani, S., Katsoyiannis, I., & Torretta, V. (2019). Legislation for the reuse of biosolids on agricultural land in Europe: Overview. *Sustainability*, 11(21), 6015.
- Rodríguez González, M. A., González Guzmán, J. M., Camargo Mayorga, D. A. (2019). Avances En El Saneamiento Y La Gestión De Biosólidos En Colombia. *Revista Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas -FACCEA*, 9(2), 113–126. <https://doi.org/10.47847/faccea.v9n2a4>
- Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2014). Decreto 1287 Del 10 de julio de 2014 "Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales." *10-Julio-2014*, 1–15. [http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Decretos/2014/Documents/JULIO/10/DECRETO\\_1287\\_DEL\\_10\\_DE\\_JULIO\\_DE\\_2014.pdf](http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Decretos/2014/Documents/JULIO/10/DECRETO_1287_DEL_10_DE_JULIO_DE_2014.pdf)
- Rincón, S., Mendoza, L., & Gómez, A. (2019). Tratamiento térmico de biosólidos para aplicaciones energéticas: Pirólisis y conversión de sus alquitranes. Bogotá, Colombia: Kassel University Press. <https://doi.org/10.19211/KUP9783862199815>
- Vélez Zuluaga, J. A. (2007). Los biosólidos: ¿una solución o un problema? *Producción + Limpia*, 2, 57–71. [https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=31881936&lang=es&site=ehost-live%5Chttp://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/RevistaLimpia/vol2n2/PL\\_V2N2\\_57-71\\_biosolidos.pdf](https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=31881936&lang=es&site=ehost-live%5Chttp://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/RevistaLimpia/vol2n2/PL_V2N2_57-71_biosolidos.pdf)
- Waldemar, P. M., Jorge, S. L., Norberto, U. C., Martha, D. T., & Patricia, T. L. (2013). Efecto de aplicación de biosólidos sobre las propiedades físicas de un suelo cultivado con caña de azúcar. *Acta Agronómica*, 62(3), 251–260.
- Barraoui, D., Blais, J., & Labrecque, M. (2020). Effect of cleanup of spiked sludge on corn growth biosorption and leaching of metals. *Emerging Contaminants*, 7, 77–87. <https://doi.org/10.1101/2020.08.21.260661>
- March, R. (2010). *GUIDELINES FOR LAND APPLICATION AND STORAGE OF MUNICIPAL BIOSOLIDS IN NOVA SCOTIA*. *March*.
- Rojas, R., & Mendoza, L. (2012). Use of biosolids for energetic recovery in México. *Producción Más Limpia*, 7(2), 74–94.
- Araujo, L., Molina, S., & Noguera, L. (2018). Aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales como materia prima en la industria de la construcción: revisión bibliográfica. *Revista Agunkuyã*, 8(1), 21-28. <https://doi.org/10.33132/27114260.1231>
- Amlan, Kr., Ghosh, Bhatt, M.A. and Agrawal, H.P. (2012). Effect of long-term application of treated sewage water on heavy metal accumulation in vegetables grown in Northern India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184:1025-1036
- Ullah, H. and Khan, I. (2015). Effects of sewage water irrigation of cabbage to soil geochemical properties and products safety in periurban Peshawar, Pakistan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187: 126, doi: 10.1007/s10661-015-4344-6.
- Belhaj, D., Elloumi, N., Jerbi, B., Zouari, M. Abdallah, F.B., Ayadi, H. and Kallel, M. (2016). Effects of sewage sludge fertilizer on heavy metal accumulation and consequent responses of sunflower (*Helianthus annuus*). *Environmental Science and Pollution Research*, 23: 20168-20177
- Meena, R., Datta, S.P., Golui, D., Dwivedi, B.S., and Meena, M.C. (2016). Long-term impact of sewage irrigation on soil properties and assessing risk in relation to transfer of metals to human food chain. *Environmental Science and Pollution Research*, 23: 14269-14283.
- Leite Moretti, S.M. Bertocini, E.I. Vitti, A.C., Alleoni, L.R.F. and Junior, C.H.A. (2016). Concentration of Cu, Zn, Cr, Ni, Cd, and Pb in soil, sugarcane leaf and juice: residual effect of sewage sludge and organic compost application. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(3): 163, doi: 10.1007/s10661- 016-5170-1
- Alghobar, M.A. and Suresha, A. (2017). Evaluation of metal accumulation in soil and tomatoes irrigated with sewage water from Mysore city, Karnataka, India. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16: 49-59.
- Ullah, H., Khan, N.U., Ali, F., Shah, Z.A. and Ullah, Q. (2017). Health risk of heavy metals from vegetables irrigated with sewage water in peri-urban of Dera Ismail Khan, Pakistan. *International Journal of Environmental Science and Technology*, DOI 10.1007/s13762-017-1384-1.
- Shahbazi, F., Ghasemi, S., Sodaiezhadeh, H., Ayaseh, K. and Ahmadmahmoodi, R.Z. (2017). The effect of sewage sludge on heavy metal concentrations in wheat plant (*Triticum aestivum* L.). *Environmental Science and Pollution Research*, 24:15634- 15644
- Eid, E.M., Alrumman, S.A., El-Bebany, A.F., Hesham, A.E.L., Taher, M.A. and Fawy, K.F. (2017). The effects of different sewage sludge amendment rates on the heavy metal bioaccumulation, growth and biomass of cucumbers (*Cucumis sativus* L.). *Environmental Science and Pollution Research*, 24:16371- 16382.
- Kumar, V. and Chopra, A.K. (2013). Accumulation and translocation of metals in soil and different parts of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) amended with sewage sludge. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 92 (1): 103-108. DOI: 10.1007/s00128-013-1142-0

- Ullah, H., Khan, N.U., Ali, F., Shah, Z.A. and Ullah, Q. (2017). Health risk of heavy metals from vegetables irrigated with sewage water in peri-urban of Dera Ismail Khan, Pakistan. *International Journal of Environmental Science and Technology*, DOI 10.1007/s13762-017-1384-1.
- Shahbazi, F., Ghasemi, S., Sodaieezadeh, H., Ayaseh, K. and Ahmadmahmoodi, R.Z. (2017). The effect of sewage sludge on heavy metal concentrations in wheat plant (*Triticum aestivum* L.). *Environmental Science and Pollution Research*, 24:15634- 15644
- Eid, E.M., Alrumman, S.A., El-Bebany, A.F., Hesham, A.E.L., Taher, M.A. and Fawy, K.F. (2017). The effects of different sewage sludge amendment rates on the heavy metal bioaccumulation, growth and biomass of cucumbers (*Cucumis sativus* L.). *Environmental Science and Pollution Research*, 24:16371- 16382.
- Kumar, V. and Chopra, A.K. (2013). Accumulation and translocation of metals in soil and different parts of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) amended with sewage sludge. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 92 (1): 103-108. DOI: 10.1007/s00128-013-1142-0

# Muchas gracias.



# XIX

## SEMANA DE LA FACULTAD DE

# ARQUITECTURA E INGENIERÍA

PRODUCCIONES ACADÉMICAS E INVESTIGATIVAS DE LOS PROGRAMAS DE PREGRADO Y POSGRADO

Edición en Línea. ISSN 2357-5921 Volumen 10- No 1-2022 Publicación Semestral

# Remediación de suelos contaminados con mercurio usando materia orgánica y *Eisenia foetida* y *Pseudomonas putida* como bioindicadores

Daniela Cardona Amariles, Alejandro Correa Arenas, Laura Camila Sánchez Torres, Nicolás Ernesto Pinto Martínez

**Asesora:** Laura Osorno Bedoya

# INTRODUCCIÓN

En Antioquia, una de las principales actividades económicas es la minería, entre las cuales destaca la de oro, en esta se demanda gran cantidad de mercurio, ya que para obtener un gramo de oro se requiere el doble de dicho elemento (2,4 g) (Luna Arcila & Soto Hoyos, 2016).

El Hg es el tercer elemento más tóxico de la naturaleza (Kumari et al., 2020):

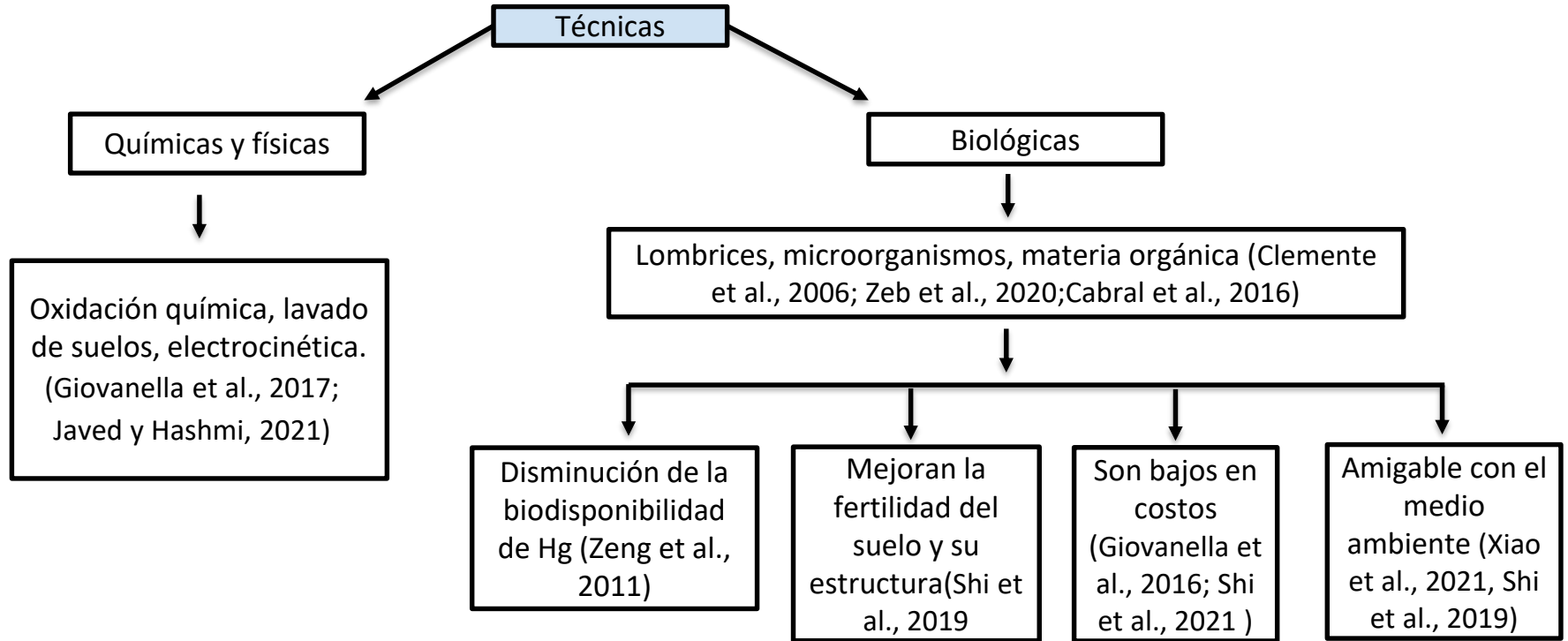
- Genera desequilibrio de los nutrientes en el suelo
- Causa acumulación de Fe y pérdida de K, Mg y Mn
- Es bioacumulable afectando la cadena trófica y la salud humana



Tomado de: <https://www.elespectador.com/noticias/actualidad/bolivar-vive-entre-mercurio>



# JUSTIFICACIÓN



**OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la efectividad de la materia orgánica en la disminución de la concentración de Hg, y el uso de la lombriz *Eisenia foetida* y de la bacteria *Pseudomona putida* como biorremediadores y bioindicadores en suelos contaminados con Hg.

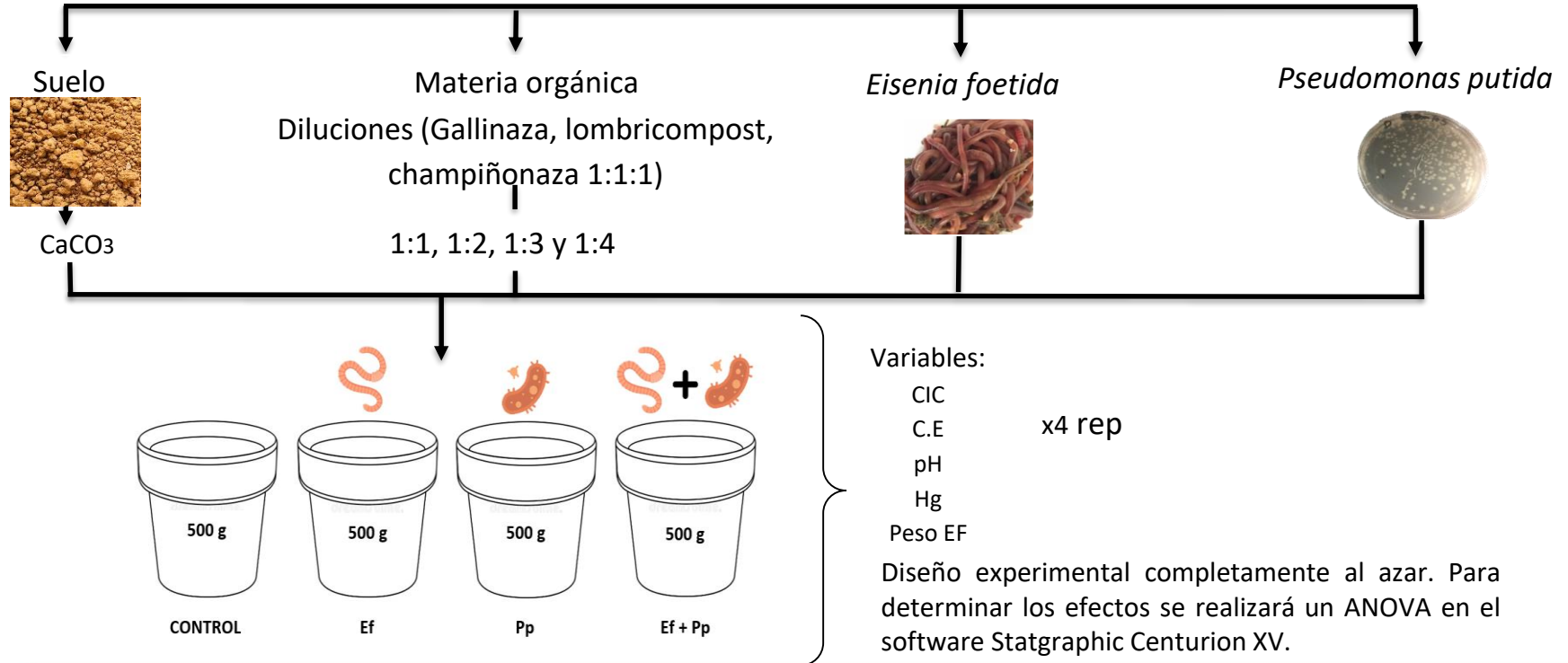
**ESPECÍFICOS**

**1** Caracterizar fisicoquímicamente el suelo contaminado con mercurio

**2** Determinar la efectividad de la adición de materia orgánica en la disminución de la concentración de Hg

**3** Evaluar la supervivencia de la lombriz *Eisenia foetida* y la bacteria *Pseudomona putida* y el uso como bioindicadores

# METODOLOGÍA

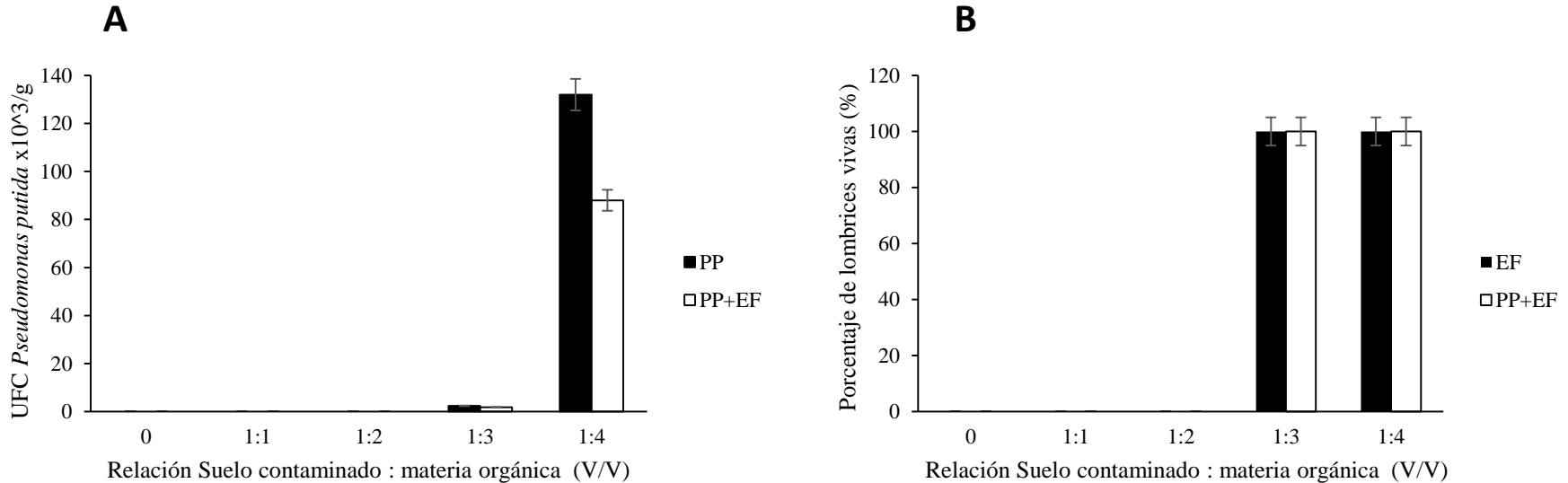


# RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

**Tabla 1.** Caracterización fisicoquímica del suelo antes y después de la adición de materia orgánica en una relación 1:3 respectivamente.

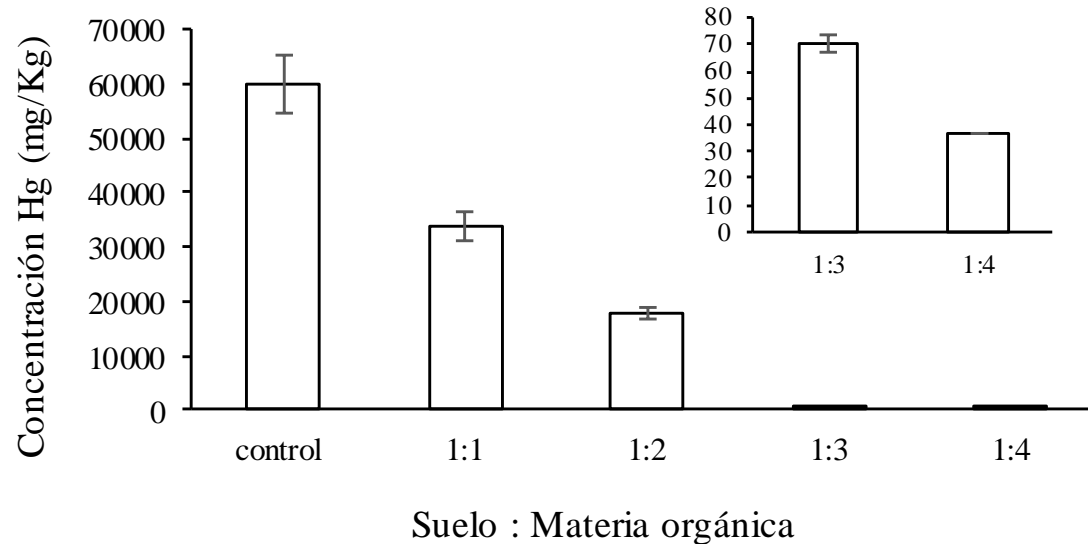
Parámetro	Método	Resultado inicial	Resultado final	Unidad
pH	1:2, agua, pH metro	4.9	7.8	-
MO	Ignición	8.5	17.5	%
C.E	Pasta saturada	0.03	9.78	ds/m
CIC	Suma cationes	2.49	86.77	mol (+) /kg
Al	1 M KCl	1.1	0	cmol (+) /kg

# RESULTADOS DE SUPERVIVENCIA



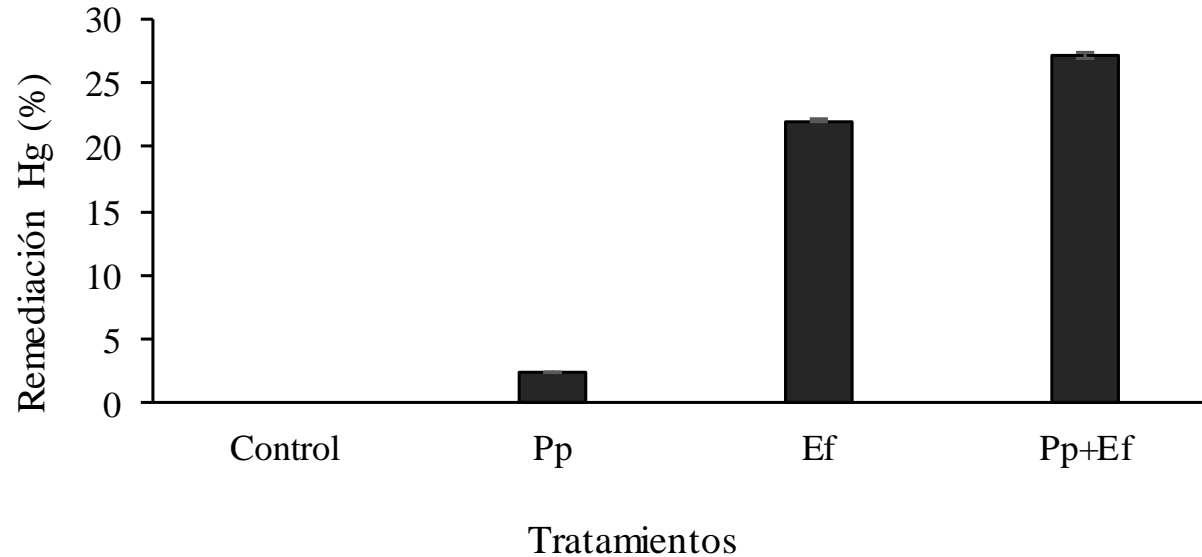
**Figura A.** Crecimiento *Pseudomonas putida* (UFC/g de suelo) **B.** Supervivencia de la *Eisenia foetida* en porcentaje de lombrices vivas, después de 1 y 12 días en los tratamientos 1:3 y 1:4 respectivamente (0, sin dilución; 1,2, 3 y 4 dilución con materia orgánica respectivamente).

## RESULTADOS DE CONCENTRACIÓN DE Hg



**Figura C.** Tratamientos realizados al suelo de acuerdo a la adición de materia orgánica y disminución en la concentración de Hg.

# RESULTADOS DE REMEDIACIÓN



**Figura D.** Porcentaje de remediación en la dilución 1:4 (suelo : materia orgánica) por tratamiento.

# CONCLUSIONES

La utilización de técnicas de remediación, como lo es la aplicación de materia orgánica, demuestra ser viable, lo cual tiene grandes ventajas sobre los métodos convencionales químicos y físicos, ya que es una técnica baja en costos y no genera efectos negativos sobre el suelo, por el contrario, mejora la disponibilidad de nutrientes, y puede ser utilizada de manera conjunta con otras técnicas de remediación.

La materia orgánica disminuye la concentración de Hg cuando se mezcla en los suelos contaminados por este.

La lombriz *Eisenia foetida* y la bacteria *Pseudomonas putida* no logran sobrevivir a altas concentraciones de Hg, sin embargo, cuando se llegan a dosis de 34000 ppm o menos, estas presentan una sobrevivencia, además, ambos organismos no solo funcionan como bioindicadores, sino también como biorremediadores, obteniendo una remediación por parte de la materia orgánica y otra por parte de los organismos.



# BIBLIOGRAFÍA

- Ojeda, J., Franco, M., & Rodríguez, G. (2019). *Absorción De metales pesados por la lombriz Eisenia foetida de los jales de mina de oro en Mocorito, Sinaloa, México*. 52(250). <https://www.aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/07/219-Mexico-Poster.pdf>
- Walker, D. J., Clemente, R., & Bernal, M. P. (2004). Contrasting effects of manure and compost on soil pH, heavy metal availability and growth of *Chenopodium album* L. in a soil contaminated by pyritic mine waste. *Chemosphere*, 57(3), 215–224. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.05.020>
- Clemente, R., Escolar, Á., & Bernal, M. P. (2006). Heavy metals fractionation and organic matter mineralisation in contaminated calcareous soil amended with organic materials. *Bioresource Technology*, 97(15), 1894–1901. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.08.018>
- Zeng, F., Ali, S., Zhang, H., Ouyang, Y., Qiu, B., Wu, F., & Zhang, G. (2011). The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants. *Environmental Pollution*, 159(1), 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.09.019>
- Zeb, A., Li, S., Wu, J., Lian, J., Liu, W., & Sun, Y. (2020). Insights into the mechanisms underlying the remediation potential of earthworms in contaminated soil: A critical review of research progress and prospects. *Science of the Total Environment*, 740, 140145. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140145>
- Giovanella, P., Cabral, L., Costa, A. P., Anastácio, F., Camargo, D. O., Gianello, C., & Bento, F. M. (2017). Metal resistance mechanisms in Gram-negative bacteria and their potential to remove Hg in the presence of other metals. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 140(February), 162–169. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.02.010>
- Cabral, L., Giovanella, P., Kerlleman, A., Gianello, C., Menezes Bento, F., & Camargo, F. A. O. (2014). Impact of selected anions and metals on the growth and invitro removal of methylmercury by *Pseudomonas putida* V1. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 91, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.01.021>



# XIX

## SEMANA DE LA FACULTAD DE

# ARQUITECTURA E INGENIERÍA

PRODUCCIONES ACADÉMICAS E INVESTIGATIVAS DE LOS PROGRAMAS DE PREGRADO Y POSGRADO

Edición en Línea. ISSN 2357-5921 Volumen 10- No 1-2022 Publicación Semestral



Alcaldía de Medellín

# Reúso de los residuos de construcción y demolición para elaborar muros verdes.

## Integrantes:

Natalia García Agudelo, Diana Carolina Giraldo Tangarife, Geraldine Torres Zapata,  
Andrés Felipe Granados Piedrahita.

**Asesor:** Esteban Acosta Zapata.

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia  
2022 – 2

# Planteamiento del problema.



## Objetivo general.

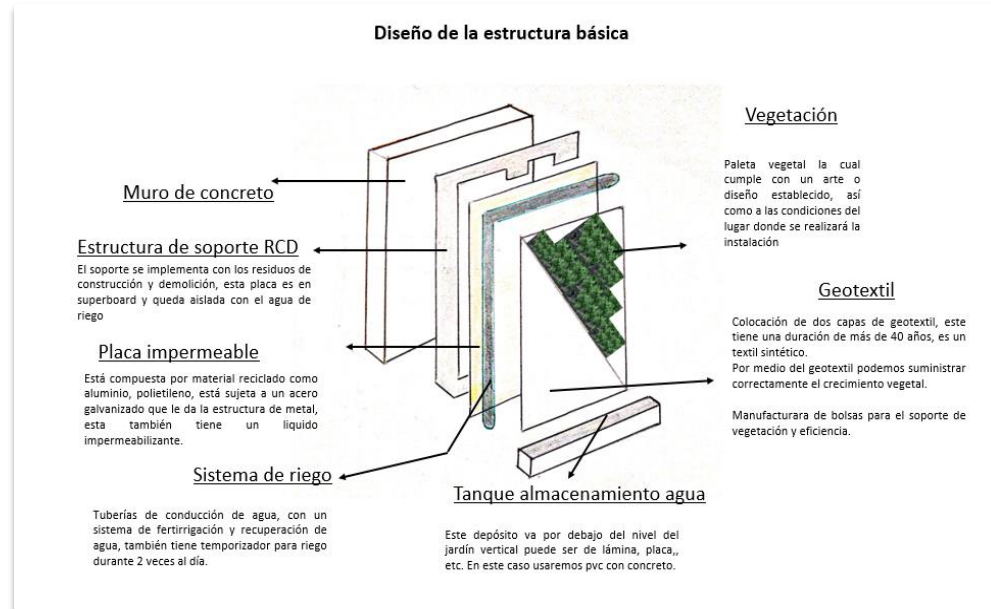
Comprobar la utilidad de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), elaborando un muro verde como una alternativa de construcción sostenible.

## Objetivos específicos.

- ❖ Identificar, mediante la información recopilada los beneficios económicos que se obtienen de la reutilización de los RCD.
- ❖ Definir de manera precisa los procesos que se implementan en la construcción de los muros verdes teniendo como materia prima los RCD.
- ❖ Diseñar y construir un muro verde a partir de los RCD como materia prima.

# Metodología

## Diseño de la estructura básica del muro verde

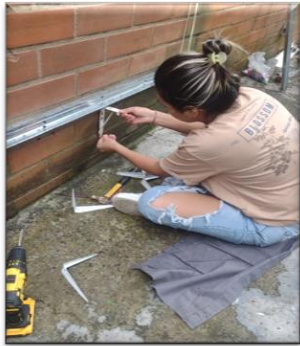
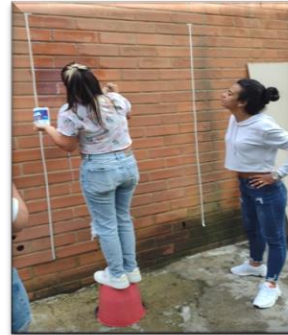
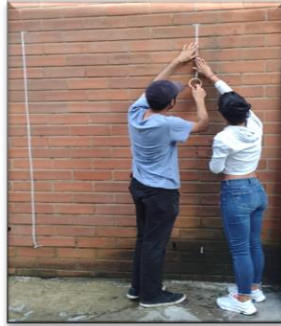
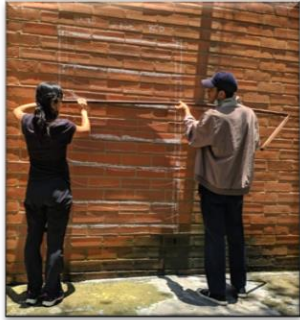


# Metodología

## Identificación y Clasificación del los RCD



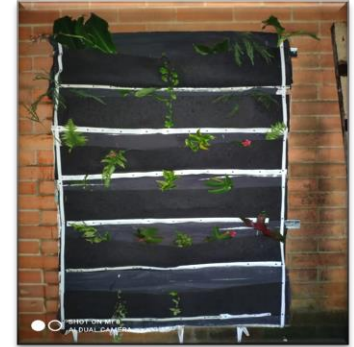
# Metodología Elaboración del Muro Verde





# Metodología

## Elaboración del Muro Verde



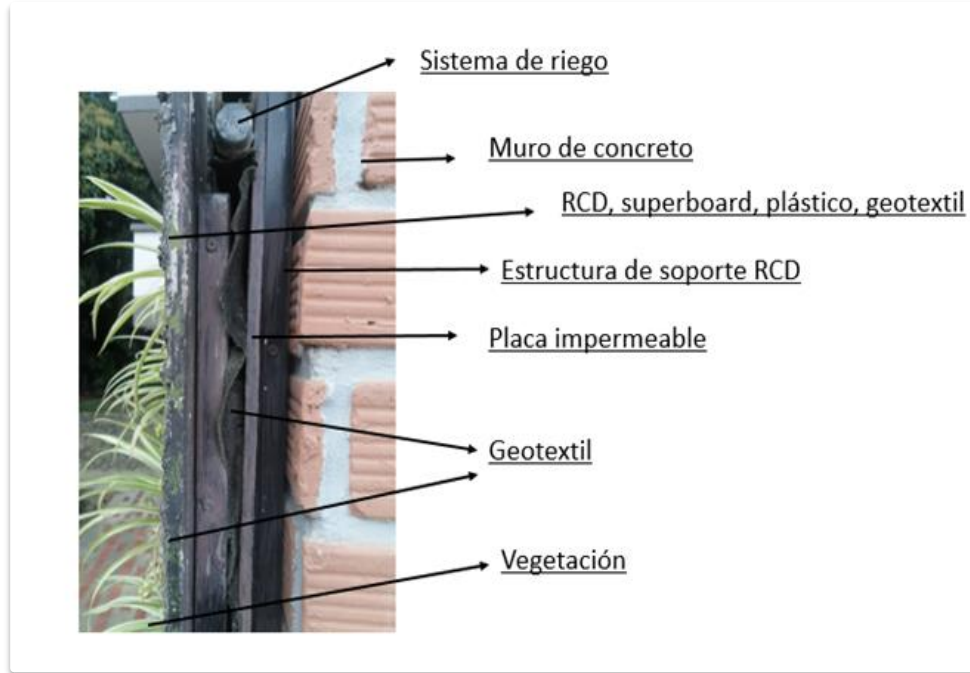
# Presupuesto

## Construcción Muro Verde

MURO VERDE (2,0 m x 1,5m)					
ÁREA m <sup>2</sup>	2,4				
CARACTERÍSTICAS	EN GEOTEXTIL (sin sistema de riego)	EN GEOTEXTIL (con sistema de riego)	EN GEOTEXTIL (con sistema de riego y recirculación, automatizado y motobomba)	EN CEMENTO CON ACABADOS RÚSTICOS Y RCD (sin sistema de riego)	# DE PLANTAS
sin vegetación, con sustrato hidropónico	\$267.000	\$505.000	\$1.467.000	\$410.000	
25 plantas x m2	\$588.000	\$1.150.000	\$1.675.000	\$543.000	50
36 plantas x m2	\$825.000	\$1.325.000	\$1.974.000	\$745.000	75

# Resultados

## Construcción Muro Verde



# Conclusiones.

- ❖ Comparando con la literatura en la búsqueda realizada de cotizaciones e investigación en sitios web y con la información suministrada por el asesor temático, se puede concluir que los costos en el presupuesto del muro verde a realizar con RCD, existe un ahorro significativo respecto a los muros tradicionales.
- ❖ El muro verde tipo oficina logra un excelente desarrollo en muy poco tiempo, también por su peso, transportabilidad, permite que la fachada ajardinada sea posible de crear ambientes saludables y sostenibles, conectando lo urbano con la naturaleza.
- ❖ La recuperación y reúso de los RCD trae beneficios Socio Ambientales muy significativos como; la descontaminación del aire, reciclaje de residuos sólidos, educación ambiental, conservación de especies de flora y generación de hábitats polinizadores.

# Agradecimientos.

Agradecemos principalmente al SENA CDHC (Centro para el desarrollo del hábitat y la construcción) por brindarnos el curso de muros verdes, proporcionarnos los materiales, y prestarnos el espacio para el desarrollo de nuestro proyecto, Por otro lado, agradecemos también a nuestros asesores por guiarnos en el transcurso de la elaboración y finalmente al Colegio Mayor de Antioquia por dejarnos presentar nuestro proyecto.

# Referencias bibliográficas.

- Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Secretaría del Medio Ambiente de Medellín, & Empresas Públicas de Medellín. (2010, April). Manual de Gestión Socio-Ambiental para Obras de Construcción. Centro de Publicaciones, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.
- Benavides, A., Chavarro, L., Forero, K., Moreno, G., & Ramírez, E. (2021). Evaluación del manejo de los residuos de construcción y demolición RCD originados por las obras de infraestructura de la empresa Concreto S.A.  
<https://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/11393/BenavidesAngelie2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bolaños, T., & Moscoso, A. (2011). Consideraciones y selección de especies vegetales para su implementación en ecoenvolventes arquitectónicos: una herramienta metodológica. Revista Nodo No 10, Facultad de Ciencias Ambientales Universidad Piloto de Colombia, Bogotá, Colombia, Vol. 5, 5–20.
- Castaño, J., Rodríguez, R., Lasso, L., Gómez, A., & Ocampo, M. (2013). Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: perspectivas y limitantes. Tecnura, Pontificia Universidad Javeriana, 17, 121–129.

# Referencias bibliográficas.

- Fernández, C. (2010, noviembre 22). Muro Verde - Sistema de Contención respetuoso con el Medio Ambiente. CONAMA 10, Congreso Nacional Del Medio Ambiente.
- Generación Verde. (2018, octubre 2). Las mejores 5 plantas para tu jardín vertical.
- Pacheco, C., Fuentes, L., Sánchez, É., & Rondón, H. (2017, March 18). Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión. Fundación Universidad Del Norte.
- Rojas, D., & Olaya, J. (2020). INFLUENCIA DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) PROVENIENTES DE CONCRETO EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y AL ATAQUE DE CLORUROS EN MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO.
- Vertical Magazine. (2018, diciembre 20). Plantas para Jardines Verticales.
- Vital Arquitectura y Soluciones Ambientales. (2021). MUROS VERDES.

# GRACIAS





# XIX

## SEMANA DE LA FACULTAD DE

# ARQUITECTURA E INGENIERÍA

PRODUCCIONES ACADÉMICAS E INVESTIGATIVAS DE LOS PROGRAMAS DE PREGRADO Y POSGRADO

Edición en Línea. ISSN 2357-5921 Volumen 10- No 1-2022 Publicación Semestral



Alcaldía de Medellín

# Estudio de comportamiento paramétrico en la modelación del rendimiento de PBM de un residuo orgánico

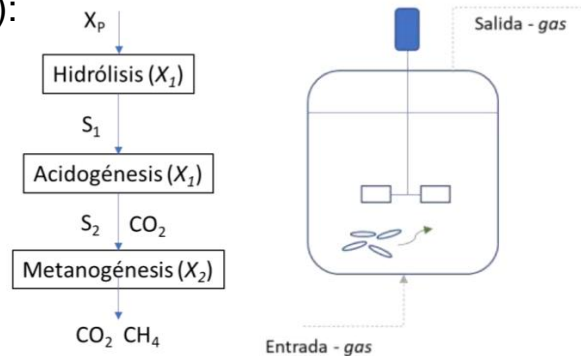
POR:

Santiago Ospina Rivas, Ana Melissa Ortiz Muñoz, Kimberly Xiomara Góez Saucedo  
sospina@est.colmayor.edu.co - aortiz@est.colmayor.edu.co -  
kimberlyg@est.colmayor.edu.co

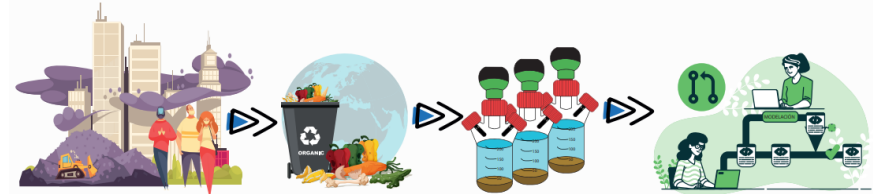
Asesores: Andrea Tamayo Londoño - Luis Alejandro Builes Jaramillo

# MARCO TEÓRICO

- Aumento en la demanda de recursos (Mayormente residuos orgánicos) (Espinosa et al., 2007)
  - Tecnologías termoquímicas, químicas y biológicas. (Romanelli et al., 2017).
- Digestión Anaerobia (Donoso Bravo, A. 2021):



**Figura 1.** Modelo de digestión anaerobia en batch

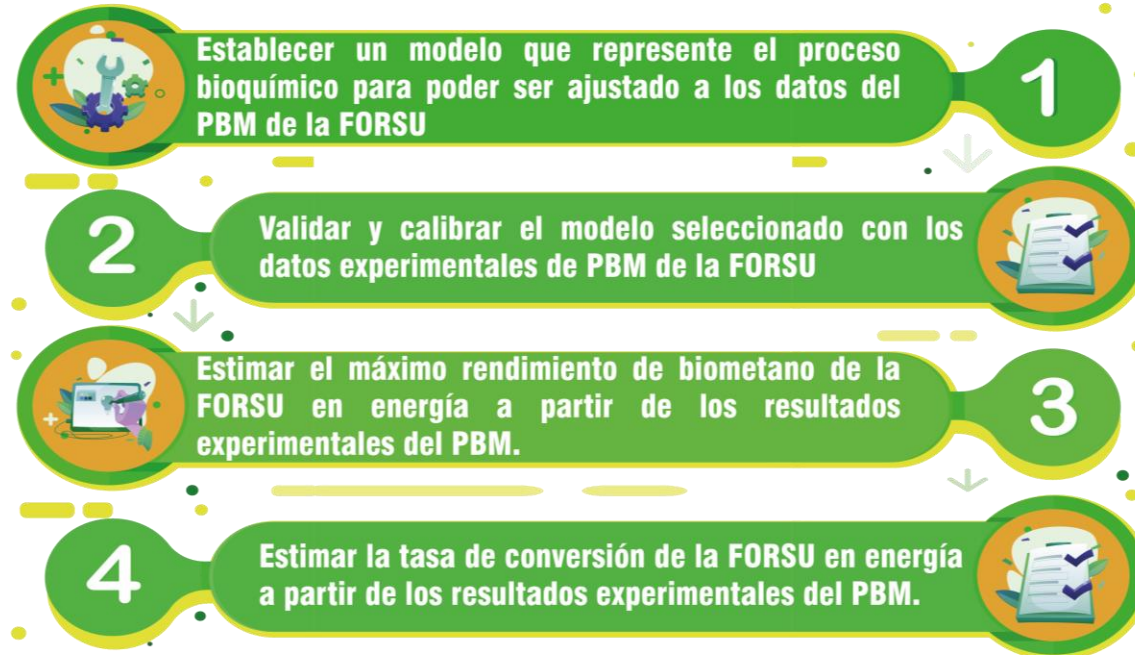


**Figura 2.** Planteamiento del problema. (Elaboración propia)

## Objetivo General

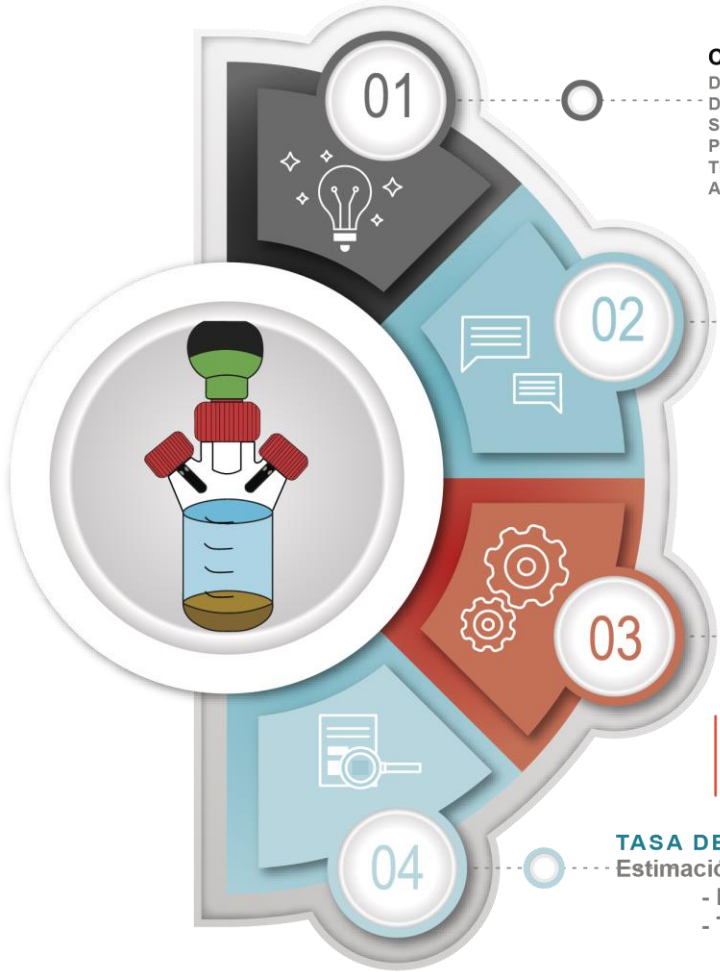
Estimar el máximo rendimiento de metano y la tasa de conversión en energía de la Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos (FORSU), a través del ajuste de modelos cinéticos de PBM.

# OBJETIVOS ESPECÍFICOS



**Figura 3.** Objetivos específicos (Elaboración propia)

# METODOLOGÍA

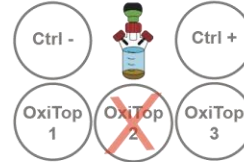


## CARACTERIZACIÓN

DQO  
DBO  
SÓLIDOS VOLÁTILES  
PH  
TEMPERATURA  
ALCALINIDAD



## EXPERIMENTOS PBM



## MODELACIÓN

Función Logística

$$B = \frac{P}{1 + \exp\left(\frac{4Rm(\lambda - t)}{P}\right) + 2}$$

Función Gompertz Modificado

$$M = B(t) = P_{\max} \cdot \exp\left(-\exp\left[\frac{R_m \cdot e}{P_{\max}} \cdot (\lambda - t) + 1\right]\right)$$

## TASA DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA

Estimación de Energía  
- Eléctrica  
- Térmica



Figura 4. Caracterización DQO



Figura 5. Montaje de PBM

# RESULTADOS

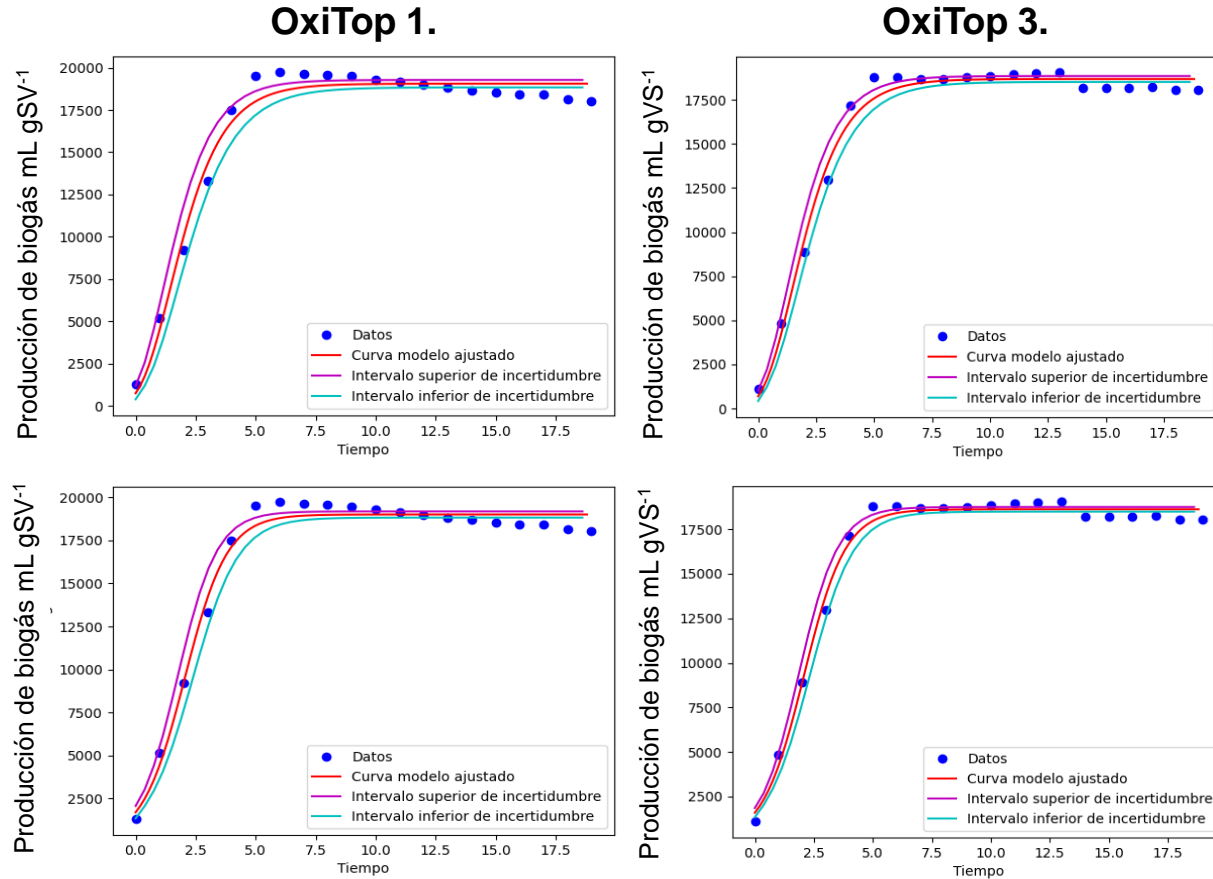
**Tabla 1.** Parámetros ajustados e intervalos de confianza GM

Parámetros	Valores		Intervalos de confianza del 95%		Error estándar	
	OxiTop 1	OxiTop 3	OxiTop 1	OxiTop 3	OxiTop 1	OxiTop 3
<b>P (mL gSV<sup>-1</sup>)</b>	1.91e+04	1.87e+04	[1.859E+04; 1.952E+04]	[1.832E+04; 1.904E+04]	227	172
<b>Rm (mL gSV<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)</b>	5.68e+03	5.49e+03	[4805; 6939]	[4751; 6418]	573	425
<b>λ (d)</b>	0.219	0.238	[-INF; 0.5887]	[-INF; 0.5298]	0.184	0.143

**Tabla 2.** Parámetros ajustados e intervalos de confianza LM

Parámetros	Valores		Intervalos de confianza del 95%		Error estándar	
	OxiTop 1	OxiTop 3	OxiTop 1	OxiTop 3	OxiTop 1	OxiTop 3
<b>P (mL gSV<sup>-1</sup>)</b>	1.9e+04	1.86e+04	[1.863E+04; 1.939E+04]	[1.834E+04; 1.89E+04]	185	134
<b>Rm (mL gSV<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)</b>	5.4e+03	5.29e+03	[4603; 6404]	[4674; 6018]	477	345
<b>λ (d)</b>	0.286	0.323	[-INF; 0.622]	[0.05008; 0.5768]	0.178	0.131

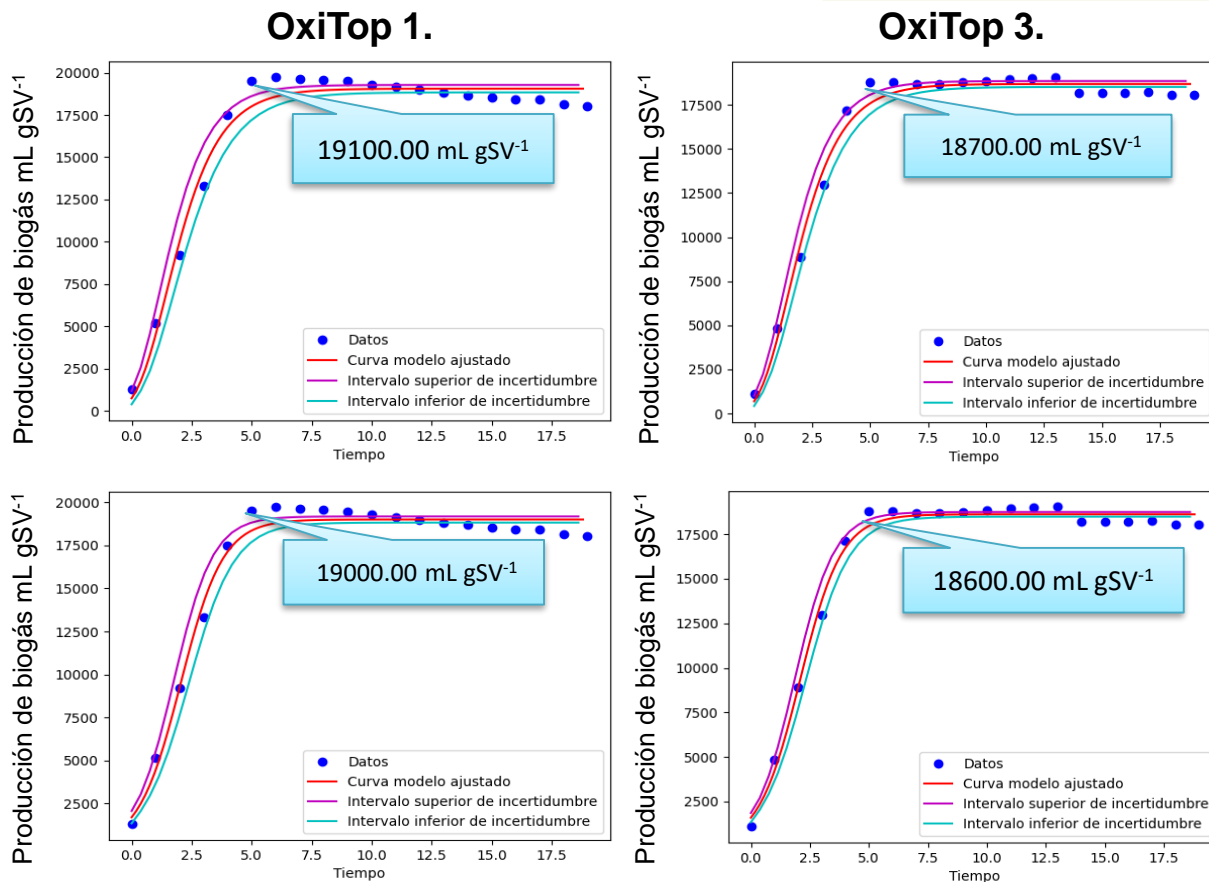
Figura 6. Modelo Vs. Datos Experimentales



Gompertz  
Modificado

Función  
Logística

Figura 6. Modelo Vs. Datos Experimentales

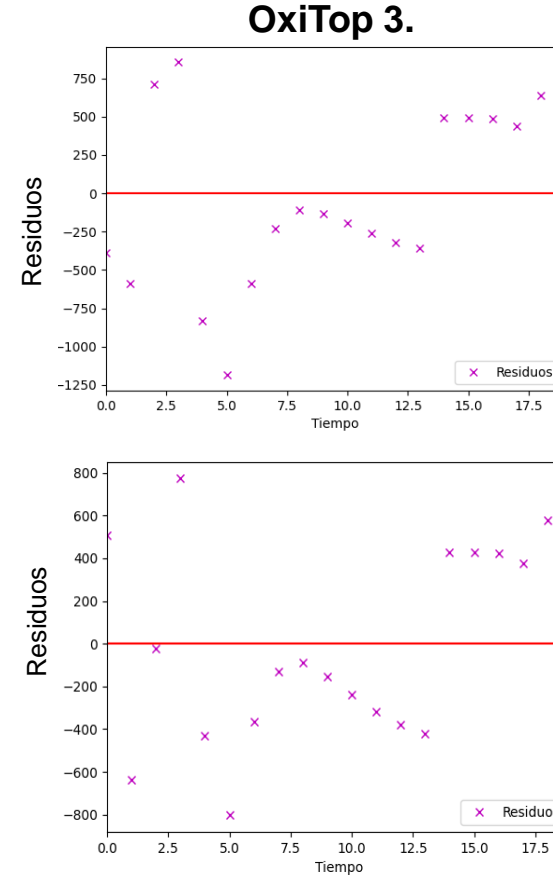
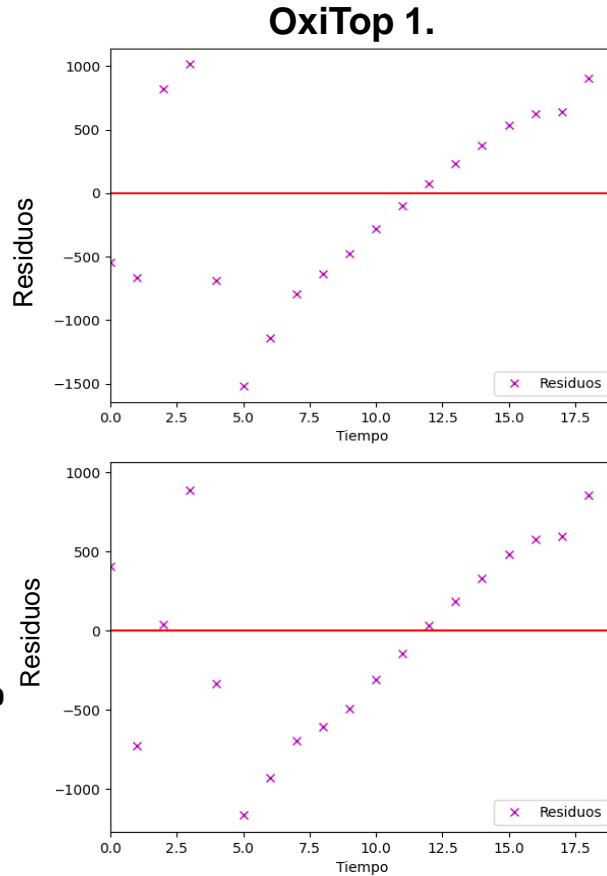


**Gompertz  
Modificado**

**Función  
Logística**



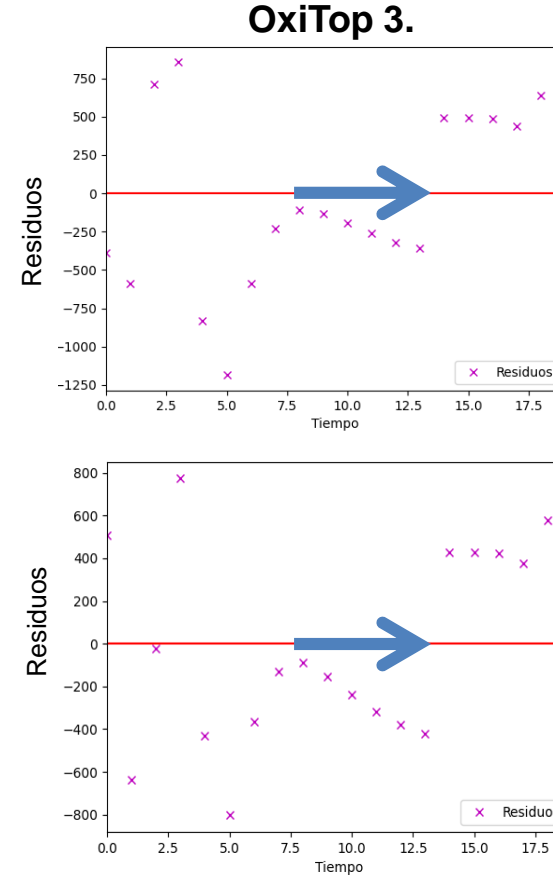
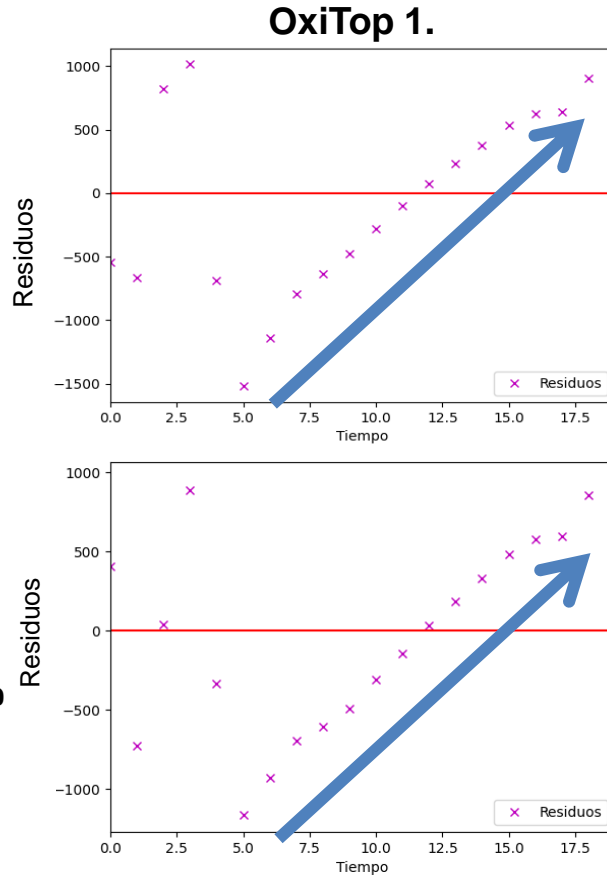
Figura 7. Residuales del modelo



**Gompertz  
Modificado**

**Función  
Logística**

Figura 7. Residuales del modelo



**Gompertz  
Modificado**

**Función  
Logística**

# RESULTADOS

**Tabla 3.** Biodegradabilidad del sustrato

Modelo	Gompertz		Logístico	
	OxiTop 1	OxiTop 3	OxiTop 1	OxiTop 3
Ensayo				
mL gSV-1 Experimental	18045,891	18063,918	18045,891	18063,918
mL gSV-1 Teórico	19100	18700	19000	18600
%Biodegradabilidad	94,481104	96,598493	94,978373	97,117839

**Tabla 4.** Producción teórica de energía a partir del biogás

	OxiTop 1	OxiTop 3
<b>Generación teórica de energía térmica</b>		
Producción de energía térmica en KWh	0,290211697	0,290501605
Biogás total producido (m <sup>3</sup> /d)	0,018045891	0,018063918
<b>Generación teórica de energía eléctrica</b>		
Producción de energía eléctrica en KW	0,203148188	0,203351124
Biogás total producido (m <sup>3</sup> /d)	0,018045891	0,018063918

# CONCLUSIONES

Este estudio confirma la utilidad del test de PBM para la evaluación de residuos orgánicos con potencial de valorización energética a través de la digestión anaerobia, que debido a su complejidad, es imprescindible un análisis estadístico de su comportamiento, que a través del desarrollo de modelos matemáticos sencillos permita identificar las necesidades del sustrato o de los parámetros operativos, antes de proceder al escalado de un reactor, como se puede observar en los residuos del OxiTop 1, por ejemplo. A través del ensayo PBM y de la curva de producción acumulada de metano que se aplicó al modelo cinético logístico y al modelo Gompertz modificado, se puede observar la variabilidad del bioproceso dentro de un comportamiento adecuado en función de la curva de crecimiento del sustrato.

La FORSU representa un sustrato de gran incertidumbre debido a su alta carga orgánica, donde los intervalos de confianza, específicamente para la tasa máxima de producción de metano, apoyan esta realidad biológica, ya que se definen en un amplio rango de datos dentro del ajuste del valor medio obtenido. En consecuencia, una correcta y completa caracterización inicial permite elegir un sustrato adecuado, que siendo el único, indica la mejor relación sustrato-inóculo a utilizar, en base a un mejor resultado, sujeto a inferencias de modelización estadística, para una correcta toma de decisiones.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FAO. "Tracking progress on food and agriculture-related SDG indicators 2021: A report on the indicators under FAO custodianship". 2021. [Online]. Available: <https://www.fao.org/sdg-progress-report/en/>
- G. P. Romanelli, D. M. Ruiz y G. A. Pasquale, Química de la biomasa y los biocombustibles. 2017.
- Obaya Abreu, Ma Cristina , y Lorenzo Acosta, Yaniris , y "La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I." ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar XXXIX, no. 1 (2005):35-48. Redalyc, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120659006>
- I. Angelidaki et al., "Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays", Water Science and Technology, vol. 59, n.º 5, pp. 927–934, marzo de 2009. [Online]. Available: <https://doi.org/10.2166/wst.2009.040>
- A. Donoso Bravo. Modelación mecánica de (bio)procesos. 1 ed. ALPHA Education Press, 2021.
- I. E. Sampson, c. Ukpaka y a. Wordu, "MODELING AN ANAEROBIC REACTOR FOR THE TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTE WATER", International Journal of Advanced Academic Research, vol. 4, n.º 10, 2018.
- J. Del Real Olvera, F. Prieto García, E. M. Santos López, A. D. Román Gutiérrez y A. J. Gordillo Martínez, "Simulación matemática de un digestor anaerobio tipo tanque agitado para el tratamiento de vertidos residuales", Revista internacional de contaminación ambiental, vol. 25, n.º 1, pp. 33–41, 2009.
- Y. Yoon, S. Lee, K. Kim, T. Jeon y S. Shin, "Study of anaerobic co-digestion on wastewater treatment sludge and food waste leachate using BMP test", Journal of Material Cycles and Waste Management, vol. 20, n.º 1, pp. 283–292, febrero de 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10163-017-0581-9>
- L. M. Cárdenas Cleves, B. A. Parra Orobio, P. Torres Lozada y C. H. Vásquez Franco, "Perspectivas del ensayo de Potencial Bioquímico de Metano - PBM para el control del proceso de digestión anaerobia de residuos", Revista ION, vol. 29, n.º 1, pp. 95–108, junio de 2016. Disponible: <https://doi.org/10.18273/revion.v29n1-2016008>
- J. M. Owens y D. P. Chynoweth, "Biochemical Methane Potential of Municipal Solid Waste (MSW) Components", Water Science and Technology, vol. 27, n.º 2, pp. 1–14, enero de 1993. [Online]. Available: <https://doi.org/10.2166/wst.1993.0065>
- I. Angelidaki y W. Sanders, "Assessment of the anaerobic biodegradability of macropollutants", Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, vol. 3, pp. 117–129, 2004.
- T. L. Hansen et al., "Method for determination of methane potentials of solid organic waste", Waste Management, vol. 24, n.º 4, pp. 393–400, enero de 2004. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2003.09.009>
- B. Fernández, P. Porrier y R. Chamy, "Effect of inoculum-substrate ratio on the start-up of solid waste anaerobic digesters", Water Science and Technology, vol. 44, n.º 4, pp. 103–108, agosto de 2001. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.2166/wst.2001.0191>
- L. Neves, R. Oliveira y M. M. Alves, "Influence of inoculum activity on the bio-methanization of a kitchen waste under different waste/inoculum ratios", Process Biochemistry, vol. 39, n.º 12, pp. 2019–2024, octubre de 2004. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2003.10.002>
- F. Raposo, C. J. Banks, I. Siebert, S. Heaven y R. Borja, "Influence of inoculum to substrate ratio on the biochemical methane potential of maize in batch tests", Process Biochemistry, vol. 41, n.º 6, pp. 1444–1450, junio de 2006. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2006.01.012>
- J.-G. Lin, Y.-S. Ma, A. C. Chao y C.-L. Huang, "BMP test on chemically pretreated sludge", Bioresource Technology, vol. 68, n.º 2, pp. 187–192, mayo de 1999. [En línea]. Disponible: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(98\)00126-6](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(98)00126-6).

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- B. A. Parra-Orobio, A. Donoso-Bravo, J. C. Ruiz-Sánchez, K. J. Valencia-Molina y P. Torres-Lozada, "Effect of inoculum on the anaerobic digestion of food waste accounting for the concentration of trace elements", *Waste Management*, vol. 71, pp. 342–349, enero de 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.09.040>
- M. C. Sadino-Riquelme, J. Rivas, D. Jeison, R. E. Hayes y A. Donoso-Bravo, "Making sense of parameter estimation and model simulation in bioprocesses", *Biotechnology and Bioengineering*, vol. 117, n.º 5, pp. 1357–1366, febrero de 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1002/bit.27294>
- A. Nicholls, "Confidence limits, error bars and method comparison in molecular modeling. Part 2: Comparing methods", *Journal of Computer-Aided Molecular Design*, vol. 30, n.º 2, pp. 103–126, febrero de 2016. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1007/s10822-016-9904-5>
- M. C. Sadino-Riquelme, J. Rivas, D. Jeison, R. E. Hayes y A. Donoso-Bravo, "Making sense of parameter estimation and model simulation in bioprocesses", *Biotechnology and Bioengineering*, vol. 117, n.º 5, pp. 1357–1366, febrero de 2020. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1002/bit.27294>
- A. Donoso-Bravo, S. I. Pérez-Elvira y F. Fdz-Polanco, "Application of simplified models for anaerobic biodegradability tests. Evaluation of pre-treatment processes", *Chemical Engineering Journal*, vol. 160, n.º 2, pp. 607–614, junio de 2010. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.03.082>
- IDEAM. "pH EN AGUA POR ELECTROMETRIA". 2007. [En línea]. Disponible: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/pH+en+agua+por+Electrometría.pdf/ec53b64e-91eb-44c1-befe-41fcfccdf1>
- IDEAM. "Determinación de alcalinidad por potenciometría". 2005 [En línea]. Disponible: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Alcalinidad+total+en+agua+por+electrometr%C3%ADa..pdf/dd9a3610-8ff7-49bc-97eb-5306362466df>
- N. Técnica. 2014. NTC. (571).
- G Pistone, S. Azambuya, y N. Barboza. Determinación de sólidos totales, fijos y volátiles en aguas naturales, y efluentes líquidos. pp 1–5. 2017.
- R. Hernán. Demanda química de oxígeno por reflujo cerrado y voluntaria. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 11. 2007. [En línea]. Disponible: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Química+de+Oxígeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>
- V. Mayor Torrez, A. Agudelo Tejada, L. García-Alzate y L. Padilla Sanabria, "Caracterización de lixiviados como alternativa que contribuya a la mitigación de contaminantes", *Revista ION*, vol. 31, n.º 1, pp. 59–63, octubre de 2018. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018010>
- O. Y. Chica Martínez, N. F. Galvis Caballero y J. Madrid Acevedo, "Validación Métodos Analíticos (DQO, hierro, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, COT) en agua", 2007, Medellín, Colombia. [En línea]. Disponible: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021320/02Preliminares.pdf>.
- A. Mangarelli et al. Manual de Procedimientos Analíticos para Muestras Ambientales, Colombia. 2017
- C. Sánchez-Reyes, M. E. Patiño-Iglesias, J. L. Alcántara-Flores, Y. Reyes-Ortega, M. A. Pérez-Cruz y E. Ortiz-Muñoz, "DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (PBM) DE RESIDUOS DE FRUTAS Y VERDURAS EN HOGARES", *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 32, n.º 2, pp. 191–198, mayo de 2016. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.20937/rica.2016.32.02.05>
- E. E. Yáñez, y M. A. Gualdrón. Metodología para la identificación y cuantificación de emisiones fugitivas de metano en campos de producción. 2014
- J. A. M. Buswell y H. F. Mueller, "Mechanism of Methane Fermentation", *Industrial & Engineering Chemistry*, vol. 44, n.º 3, pp. 550–552, marzo de 1952. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1021/ie50507a033>
- G. Blanco, E. Santalla, V. Córdoba y A. Levy. Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: Un análisis teórico-práctico. 2017 [En línea]. Disponible: <https://publications.iadb.org/es/publicacion/13967/generacion-de-electricidad-partir-de-biogás-capturado-de-residuos-sólidos-urbanos>
- Mintab, Why You Need to Check Your Residual Plots for Regression Analysis: Or, To Err is Human, To Err Randomly is Statistically Divine, 2012. [Online]. Available: <https://blog.minitab.com/en/adventures-in-statistics-2/why-you-need-to-check-your-residual-plots-for-regression-analysis>.
- A. Oelker. Artículo técnico cogeneración aplicada a generadores diesel. Thermal engineering Ltda, pp. 4-6, 2017



# XIX

## SEMANA DE LA FACULTAD DE

# ARQUITECTURA E INGENIERÍA

PRODUCCIONES ACADÉMICAS E INVESTIGATIVAS DE LOS PROGRAMAS DE PREGRADO Y POSGRADO

Edición en Línea. ISSN 2357-5921 Volumen 10- No 1-2022 Publicación Semestral



Alcaldía de Medellín

# Estrategias para la reducción de movimientos en masa con SbN en el barrio Las Flores del Municipio de Envigado.

Laura Daniela Graciano Vélez & David Restrepo Agudelo.

[ldgraciano@est.colmayor.edu.co](mailto:ldgraciano@est.colmayor.edu.co) - [davidrestrepoa@est.colmayor.edu.co](mailto:davidrestrepoa@est.colmayor.edu.co)

**Asesor:** Marco Antonio Giraldo Rincón.

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia

2022 – 1



# 1. Planteamiento del problema.



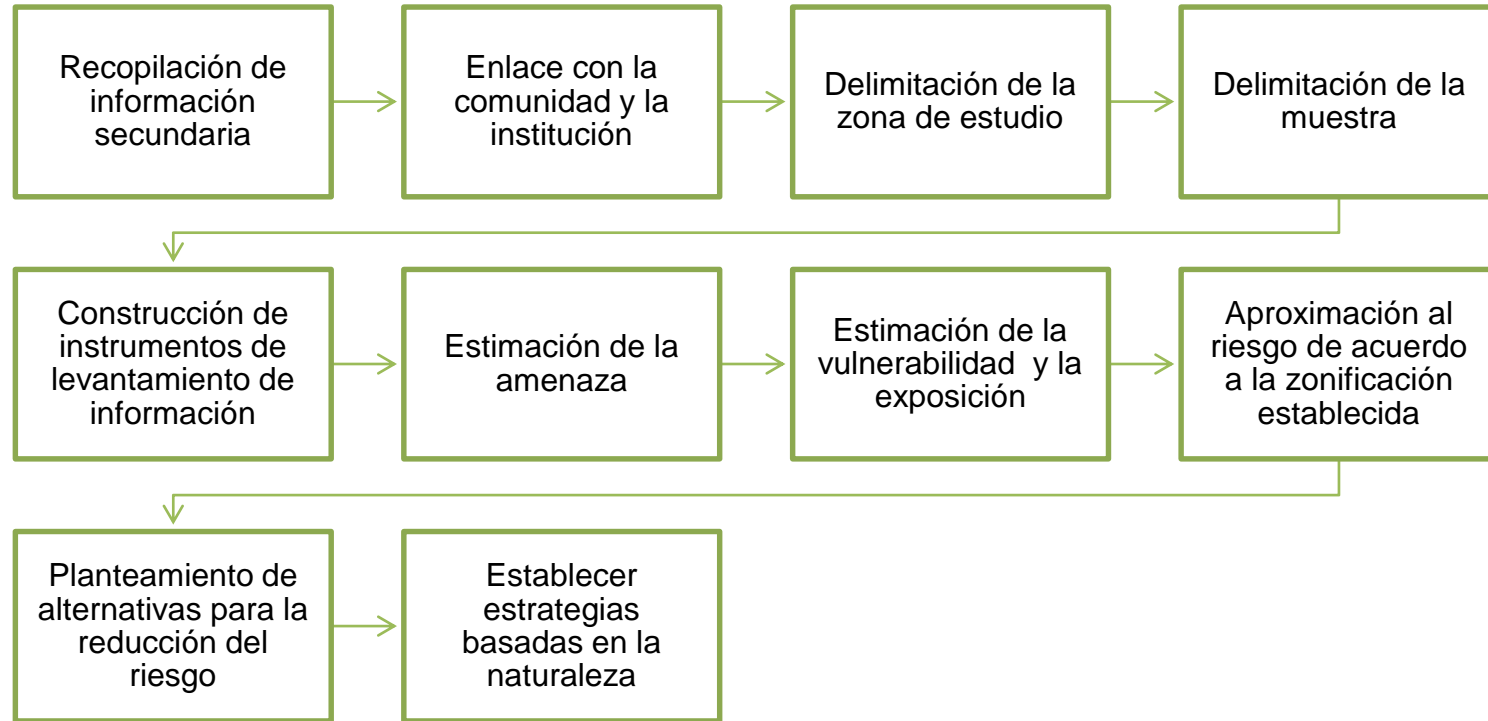
## Objetivo general.

Formular estrategias de reducción del riesgo frente a fenómenos de remoción en masa, que incluya soluciones basadas en la naturaleza, en el barrio Las Flores del Municipio de Envigado.

## Objetivos específicos.

- ❖ Realizar el análisis del riesgo frente a movimientos en masa en el barrio Las Flores.
- ❖ Proponer soluciones basadas en la naturaleza para la reducción del riesgo frente a fenómenos de remoción en masa en el barrio las Flores.
- ❖ Generar estrategias de socialización de los resultados obtenidos con la comunidad perteneciente al barrio Las Flores.

# Metodología.



# Resultados.

## Enlace con la comunidad y delimitación de la zona



*Imagen 1. Determinación de zona de estudio, población de estudio y puntos críticos respecto a la disposición de los residuos sólidos en la zona de estudio.*



*Imagen 2. Visita de campo acompañada por delegada de la JAC.*

# Resultados zona A

Variables calificación		Valor Asignado	Valor Vulnerabilidad	Vulnerabilidad	Valor global asignado	Vulnerabilidad global
Exposición		2	2	Media	2	Media
Vulnerabilidad física.	Resistencia de materiales	2	4	Media	2	
	Recolección de aguas lluvias.	2			2	
Vulnerabilidad económica.	Empleos y medios de vida.	2	2	Media	2	
Vulnerabilidad social.	Organizativo	3	13	Media	2	
	Educación	2				
	Salud	1				
	Servicios públicos	1				
	Conocimiento de riesgo	3				
	Planificación de respuesta	3				
Vulnerabilidad institucional.	Políticos.	1	4	Baja	1	
	Instituciones en capacidad de gestión	2				
	Instituciones en capacidad de respuesta.	1				
Vulnerabilidad ambiental.	Conservación ambiental	2	4	Media	2	
	Coberturas vegetales	2				

Tabla 1. Valoración de la vulnerabilidad en la zona A.

	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8
Zona A	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
PENDIENTE	4	4	4	4	4	4	4	4
GEOMORFOLOGIA	3	4	3	4	3	4	4	4
P.EROSIVOS	2	3	3	4	2	4	3	2
F.SUPERFICIALES	4	3	4	4	3	4	4	4
USO DEL SUELO	1	1	1	1	1	1	1	1
COBERTURA DEL SUELO	4	4	4	4	4	4	4	4
DRENAJE SUPERFICIAL	2	4	2	4	2	2	4	4
PLUV/EROSIÓN	2	2	3	4	4	4	4	2
TEXTURA DEL SUELO	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>TOTAL</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>25</b>	<b>32</b>	<b>27</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>28</b>

Tabla 2. Determinación y valoración para la amenaza en la zona de estudio.

RIESGO	AMENAZA			
	CATEGORIA	Alto	Medio	Bajo
VULNERABILIDAD GLOBAL	Alta	ALTO	MEDIO	BAJO
	Media	<b>ALTO</b>	MEDIO	BAJO
	Baja	MEDIO	MEDIO	BAJO

Tabla 3. Calificación del riesgo aproximado de la zona de estudio

# Soluciones propuestas para la zona A



- **Mantos:** Sistema integrado a la superficie expuesta para el control y soporte de vegetación en taludes, desnudas que requieran fijación, diseñado para controlar la erosión y otorgar un soporte mecánico, a un muy bajo costo.
- **Trinchos:** Es una técnica empírica está constituido por la construcción en forma escalonada de muros con Guadua, que conforman una serie de terrazas para tratamientos de recuperación de la cobertura vegetal.

# Resultados zona B

Variables calificación		Valor Asignado	Valor Vulnerabilidad	Vulnerabilidad	Valor global asignado	Vulnerabilidad global
Exposición		3	3	Alta	3	Alta
Vulnerabilidad física.	Resistencia de materiales	3	6	Alta	3	
	Recolección de aguas lluvias.	3				
Vulnerabilidad económica.	Empleos y medios de vida.	2	2	Media	2	
Vulnerabilidad social.	Organizativo	2	13	Media	2	
	Educación	2				
	Salud	2				
	Servicios públicos	1				
	Conocimiento de riesgo	3				
	Planificación de respuesta	3				
Vulnerabilidad institucional.	Políticos.	2	6	Media	2	
	Instituciones en capacidad de gestión	2				
	Instituciones en capacidad de respuesta.	2				
Vulnerabilidad ambiental.	Conservación ambiental	3	6	Alta	3	
	Coberturas vegetales	3				

Tabla 4 . Valoración de la vulnerabilidad en la zona B.

RIESGO	AMENAZA			
	CATEGORIA	Alto	Medio	Bajo
VULNERABILIDAD GLOBAL	Alto	Alto	Medio	Bajo
	Medio	Alto	Medio	Bajo
	Bajo	Alto	Medio	Bajo

Tabla 5. Calificación del riesgo aproximado de la zona de estudio.

# Soluciones propuestas para la zona B



Para garantizar la estabilidad del suelo en la zona B donde se presenta infraestructura construida, se propone como solución la construcción de canalizaciones de agua lluvia en las viviendas presentes en el territorio.

*Imagen 4. Soluciones propuestas en la zona B.*



# Resultados zona C

En la zona C se observó una ladera con una intervención antrópica baja y la cobertura vegetal se encuentra en buen estado permitiendo una estabilidad relativa en esta área. En este sector no hay elementos expuestos de manera directa, por lo que no aplica el análisis del riesgo incorporando factores de vulnerabilidad y exposición.

Las soluciones propuestas para esta zona en específica son solo tener un mantenimiento preventivo y continuar con el proceso de conservación.



*Imagen 5. Soluciones propuestas en la zona C.*

# Riesgo total



# Conclusiones

## 01

Los métodos que actualmente se implementa (zanjas de canalización de aguas lluvias y costales apilados) para el amarre de taludes, presentan una poca efectividad debido a la falta de mantenimiento por lo que pasan a convertirse en un peso adicional sobre los taludes.

## 02

La conservación de la vegetación que esta presente en la zona ha mitigado considerablemente la generación de deslizamientos, esto debido a que la raíces actúan como un sistema de refuerzo, afianzando la estructura del suelo e incrementando la resistencia a deslizamientos.

## 03

La zona de estudio presenta alto riesgo por fenómenos de remoción en masa, asociados principalmente a la lluvia, que favorecen la saturación. Aunque no sean repostado eventos de gran magnitud, sino se implementan soluciones que prevengan desastres pueden comprometer la vida de los habitantes.

# Referencias bibliográficas.

- Aristizábal, E., López, S., Sánchez, O., Vásquez, M., Rincón, F., Ruiz-Vásquez, D., Restrepo, S., & Valencia, J. S. (2019). Evaluación de la amenaza por movimientos en masa detonados por lluvias para una región de los Andes colombianos estimando la probabilidad espacial, temporal, y magnitud. *Revista Boletín de Geología*, 41(3), 85–105.
- Alcaldía de Medellín, & Tecnológico de Antioquia I.U. (2016). *Movimientos En Masa. Alcaldía de Medellín*, 1, 25.
- Baena Correa, S., Paz Muñoz, J. S., & Fernández Plaza, D. (2019). Reducción del riesgo y amenaza de deslizamientos en vías principales de Colombia. Pontificia Universidad Javeriana.
- "Banco Mundial. 2021. Catálogo de soluciones basadas en la naturaleza para la resiliencia urbana. Banco Mundial, Washington, DC. © Banco Mundial. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/36507> Licencia: CC BY 3.0 IGO”.
- Guerrero, Elvira, F. I. Y. N. (2014, 5 junio). *COMPORTAMIENTO DE TRINCHOS EN GUADUA ANGUSTIFOLIA EN SUELOS FRICCIONANTES A TRAVÉS DE ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS – Bienvenido a IECA IBEROAMERICA – IECA IBEROAMERICA*. Asociación internacional de control de erosión y sedimentos lecaiberoamerica.



# XIX

## SEMANA DE LA FACULTAD DE

# ARQUITECTURA E INGENIERÍA

PRODUCCIONES ACADÉMICAS E INVESTIGATIVAS DE LOS PROGRAMAS DE PREGRADO Y POSGRADO

Edición en Línea. ISSN 2357-5921 Volumen 10- No 1-2022 Publicación Semestral



Alcaldía de Medellín

# Modelación de caudales mensuales en la Cuenca del Río Guaviare (Colombia) ante escenarios de cambio climático.

Mariana Bermúdez Usma & Yesid Tamayo Londoño

Asesores: Hernán Darío Salas Parra – Luis Alejandro Builes Jaramillo

[mbermudez@est.colmayor.edu.co](mailto:mbermudez@est.colmayor.edu.co) – [ytamayo@est.colmayor.edu.co](mailto:ytamayo@est.colmayor.edu.co)

Facultad de Arquitectura e ingeniería  
Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín, Colombia.  
2022-1

## INTRODUCCIÓN

- Cambio climático (*IPCC, 2013*)
  - Escenarios de concentraciones de GEI.
  
  - Herramientas para el estudio del cambio climático
  - Modelos climáticos globales (GCMs).
  - Modelos climáticos regionales (RCMs).
  - Regionalización de escenarios de cambio climático IDEAM.
  
- Modelos hidrológicos (<https://esgf-node.llnl.gov/projects/esgf-llnl>)

## JUSTIFICACIÓN / PROBLEMA

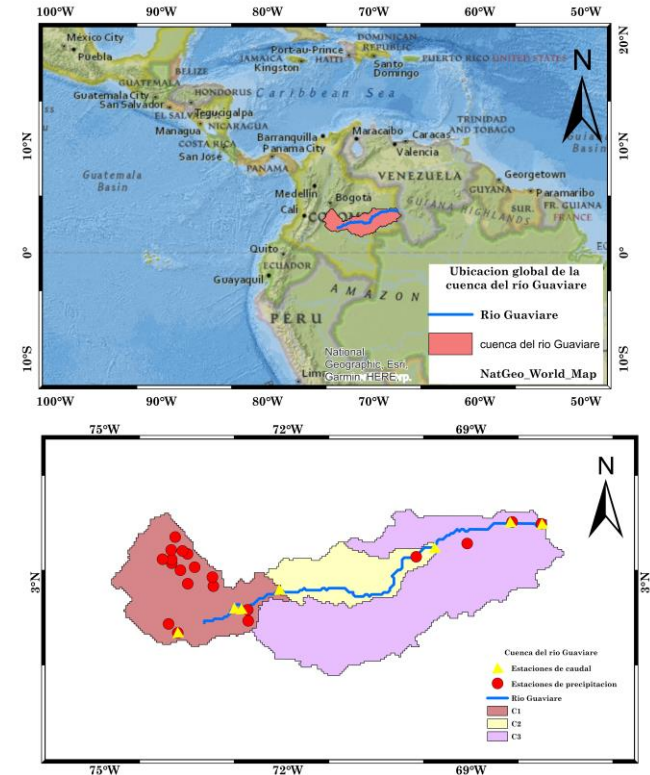
- Importancia en el transporte fluvial del oriente del país.
  
- Sustento de comunidades aledañas al Río.
  
- Zona de expansión agrícola acelerada.

## OBJETIVO GENERAL

Modelar los caudales mensuales en el río Guaviare incluyendo escenarios de cambio climático para las variables precipitación de los modelos CMIP6, CMIP5, CORDEX-CORE y Regionalización del IDEAM.

## REGIÓN DE ESTUDIO

- Área de la cuenca del Río Guaviare
  - 140.000 km<sup>2</sup>.
  
- Caudal promedio:
  - 8.200 m<sup>3</sup>/s.
  
- División de la cuenca
  - Catchment: C1, C2, C3.



**Figura 1.** Ubicación geográfica de la cuenca del río Guaviare (b) Ubicación del río Guaviare y de las estaciones de precipitación y caudal de cada catchment (C1, C2 y C3) de la cuenca del río Guaviare. Fuente: elaboración propia, 2022.



## DATOS

- Estaciones hidrometeorológicas
  - Caudal: 3 estaciones.
  - Precipitación: 24 estaciones.
  
- Escenarios, vías de concentración representativas (RCPs)
  - RCP 2.6, RCP 8.5.
  
- Escala temporal
  - Mensual.
  
- Escala espacial
  - Resolución 0.25° x 0.25°.

- Periodo de tiempo
  - Histórico: 1990-2015.
  - Futuro: 2016-2099.

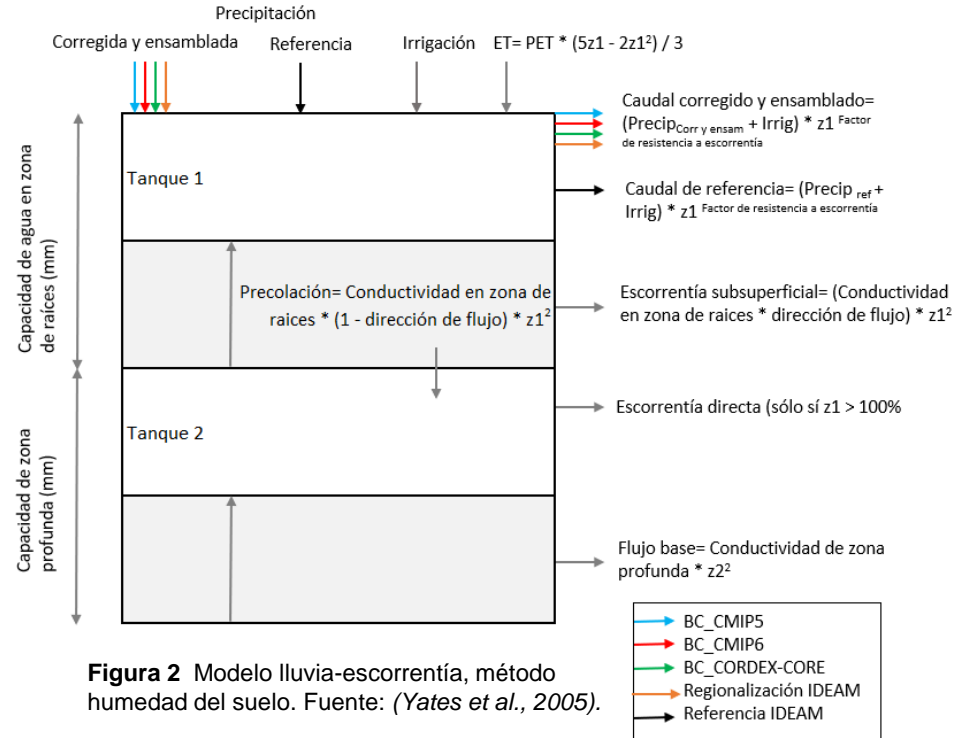
**Tabla 1.** Modelos de cambio climático utilizados en el estudio. Fuente: elaboración propia, 2022.

GCMs		RCMs	
CMIP5	CMIP6	CORDEX-CORE	IDEAM
HadGEM2-ES	EC-Earth3	HadGEM2-ES-REMO	
MIROC5	EC-Earth3-Veg	MPI-M-LR-REMO	
MPI-ESM-LR	FGOALS-g3	MPI-M-MR-RegCM4	Regionalización
NorESM1-M	MPI-ESM1-2-HR	NorESM1-M-RegCM4	
NorESM1-ME	NorESM2-MM	NorESM1-M-REMO	

# MÉTODOS

- Métricas para la calibración y validación (*Moriasi et al. 2007*)
- NSE, PBIAS.
- Corrección de sesgos (*Brêda et al., 2020*).
- Fundamental, información histórica del IDEAM
- Ensamble de los experimentos (*Agedoron et al., 2005*).

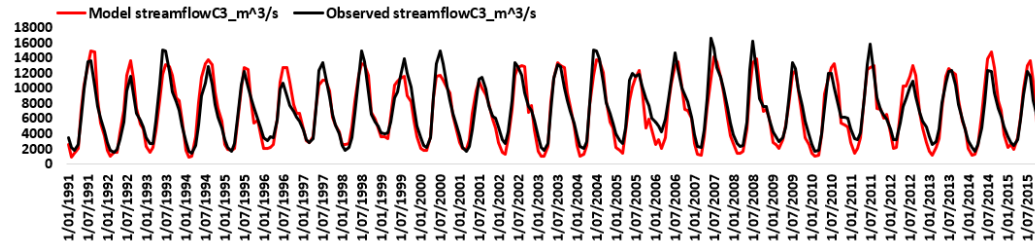
## ➤ Modelación hidrológica



**Figura 2** Modelo lluvia-escorrentía, método humedad del suelo. Fuente: (*Yates et al., 2005*).

# RESULTADOS Y ANÁLISIS

## 1. Calibración y validación de modelo hidrológico.



**Figura 3** Series de tiempo de los caudales mensuales observados y simulados del modelo hidrológico. Fuente: elaboración propia, 2022.

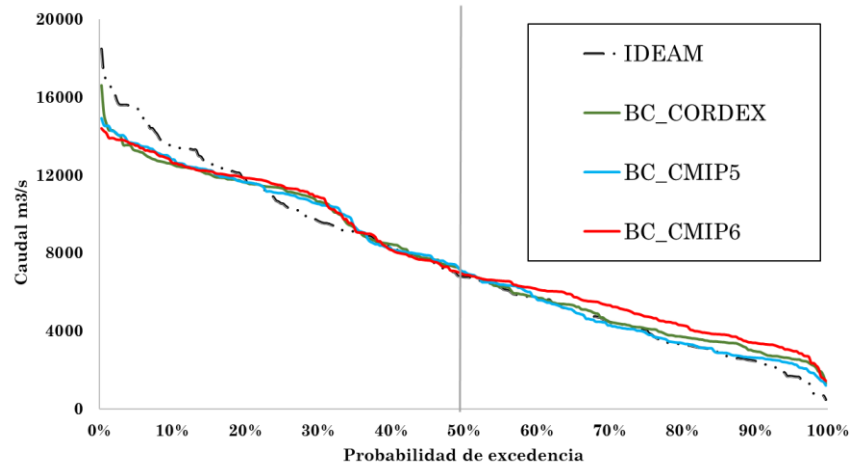
**Tabla 2.** Rangos establecidos por (Moriasi et al.2007), para las métricas estadísticas.

Rendimiento Clasificación	NSE	PBIAS
Muy bueno	$0.75 < NSE \leq 1.00$	$PBIAS \leq \pm 15$
Bueno	$0.65 < NSE \leq 0.75$	$\pm 15 \leq PBIAS \leq \pm 30$
Satisfactorio	$0.50 < NSE \leq 0.65$	$\pm 30 \leq PBIAS \leq \pm 55$
Insatisfactorio	$NSE \leq 0.50$	$PBIAS \geq \pm 55$

**Tabla 3.** Resultados de calibración y validación del modelo hidrológico. Fuente: elaboración propia, 2022.

	NSE	PBIAS (%)
Calibración	0.88	4.1
Validación	0.89	0.5

## 2. Simulación de caudales utilizando la precipitación de los ensambles de los modelos regionales (RCMs) y globales (GCMs).

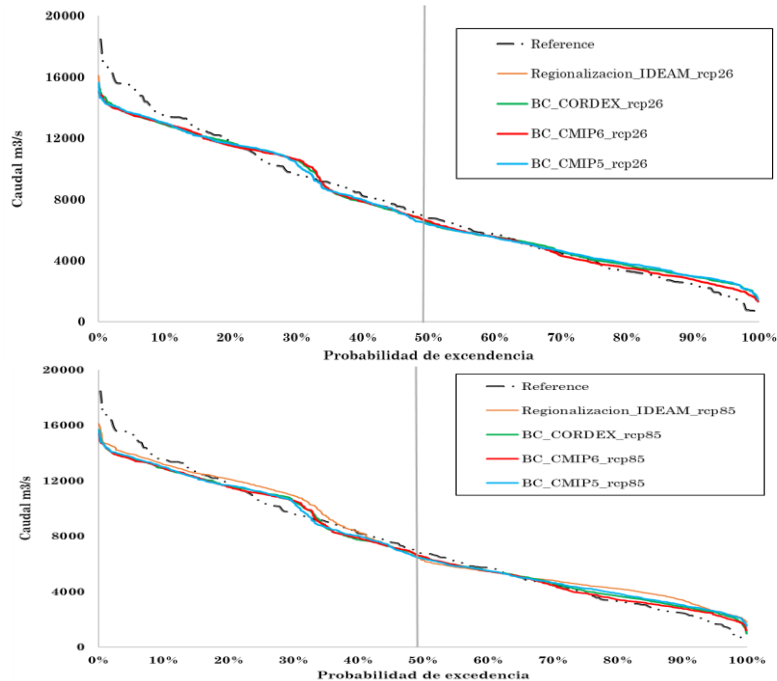


**Figura 4** Curvas de duración de los caudales obtenidos del ensamble para los experimentos CMIP5, CMIP6, CORDEX en el periodo histórico de 1990 a 2015. Fuente: elaboración propia, 2022.

**Tabla 4.** Diferencia porcentual de los caudales altos y bajos de cada experimento para el periodo histórico. Fuente: elaboración propia, 2022.

Experimento	Histórico		
	E <sub>serie</sub> (%)	E(%) Q <sub>Altos</sub>	E(%) Q <sub>Bajos</sub>
BC_CMIP5	-0.55%	-3.46%	7.58%
BC_CMIP6	-1.80%	-3.49%	2.91%
BC_CORDEX	-1.80%	-3.44%	6.27%

## 2. Simulación de caudales utilizando la precipitación de los ensambles de los modelos regionales (RCMs) y globales (GCMs).



**Figura 5** Curvas de duración de los caudales obtenidos del ensamble para los experimentos CMIP5, CMIP6, CORDEX para los escenarios 2.6 y 8.5 en el periodo futuro 2016 - 2099. Fuente: elaboración propia, 2022.

**Tabla 5.** Diferencia porcentual para los caudales altos y bajos en cada experimento y para cada escenario para el periodo futuro. Fuente: elaboración propia, 2022.

Experimento	Futuro			
	Escenario	E <sub>serie</sub> (%)	E(%) Q <sub>Altos</sub>	E(%) Q <sub>Bajos</sub>
BC_CMIP5		-0.55%	-3.46%	7.58%
BC_CMIP6		-1.80%	-3.49%	2.91%
BC_CORDEX	2.6	-1.80%	-3.44%	6.27%
Regionalización IDEAM		2.76%	-0.50%	11.87%
BC_CMIP6		-1.79%	-3.53%	3.09%
BC_CMIP5		-0.62%	-3.52%	7.49%
BC_CORDEX	8.5	-0.94%	-3.37%	5.85%
Regionalización IDEAM		2.70%	-0.20%	10.81%

# CONCLUSIONES

- Los parámetros utilizados para el modelo hidrológico de este estudio al ser comparado con las métricas establecidas por (*Moriasi et al, 2007*) presentan un buen desempeño por lo tanto el modelo hidrológico calibrado y validado para el periodo de tiempo 1990-2007 y 2008-2015 respectivamente. Proceso para el cual se utilizó información de las estaciones hidrometeorológicas del IDEAM por lo que es un modelo completamente funcional.
- Se identificó que las curvas de duración de los caudales para ambos escenarios, de todos los experimentos, para el periodo futuro presentaran un aumento entre el 2% y el 12% en los caudales bajos y los caudales altos presentan una disminución entre 0,2% y el 4%.
- Para próximos estudios se propone dividir el periodo futuro en tres subperiodos de aproximadamente 28 años para obtener conjuntos de datos similares al conjunto de datos histórico utilizado en este estudio y así observar mayores diferencias en los caudales.

# REFERENCIAS

- IPCC, *Preguntas frecuentes Cambio climático 2013 Bases físicas Resumen para responsables de políticas*. 2013.
- P. A. Arias, G. Ortega, L. D. Villegas, and J. A. Martínez, “Colombian climatology in CMIP5/CMIP6 models: Persistent biases and improvements,” *Rev. Fac. Ing.*, no. 100, pp. 75–96, 2021, doi: 10.17533/udea.redin.20210525.
- D. N. Yates, J. Sieber, D. R. Purkey, and A. Huber-Lee, “WEAP21 – A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model Part 1: Model Characteristics,” *Water Int.*, vol. 30, no. 4, pp. 487–500, 2005, [Online]. Available: <http://cabyregion.org/Members/yates/yates-et-al-part-1.pdf>.
- D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, and T. L. Veith, “MODEL EVALUATION GUIDELINES FOR SYSTEMATIC QUANTIFICATION OF ACCURACY IN WATERSHED SIMULATIONS D.,” vol. 50, no. 3, pp. 885–900, 2007.
- J. P. L. F. Brêda, R. C. D. de Paiva, W. Collischon, J. M. Bravo, V. A. Siqueira, and E. B. Steinke, “Climate change impacts on South American water balance from a continental-scale hydrological model driven by CMIP5 projections,” *Clim. Change*, vol. 159, no. 4, pp. 503–522, 2020, doi: 10.1007/s10584-020-02667-9.
- C. Florian-Vergara, H. D. Salas, and A. Builes-Jaramillo, “Análisis de la precipitación y la evaporación en el Orinoco colombiano según los modelos climáticos regionales del experimento CORDEX-CORE,” *Tecnológicas*, vol. 24, no. 52, p. e2144, 2021, doi: 10.22430/22565337.2144.



# XIX

## SEMANA DE LA FACULTAD DE

# ARQUITECTURA E INGENIERÍA

PRODUCCIONES ACADÉMICAS E INVESTIGATIVAS DE LOS PROGRAMAS DE PREGRADO Y POSGRADO

Edición en Línea. ISSN 2357-5921 Volumen 10- No 1-2022 Publicación Semestral



Alcaldía de Medellín



# Extracción de compuestos fenólicos a partir de pulpa de café, por el método de ultrasonido

*Yadine Alexandra González Ramírez*

*Yonatan Felipe Álvarez Giraldo*

*Bryan Stiveth Marín Guarín*

*Mauricio Quiceno Cano*

*Asesora Temática; Andrea Tamayo*

*Asesora Metodológica: Gina Hincapié*

**Curso Proyecto de Investigación  
Programa Ingeniería Ambiental.**



**SICA**  
Semillero de Investigación  
Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia

# Problema de Investigación

¿Cuál es el tiempo de exposición que permite una mayor obtención de compuestos fenólicos, a partir de la pulpa de café, por el método de extracción de ultrasonido?



Fuente: [www.contextoganadero.com](http://www.contextoganadero.com)

# Justificación

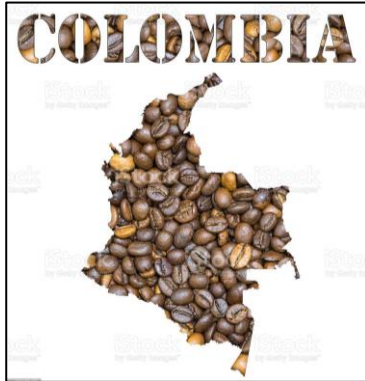
Generar un potencial aprovechamiento y valorización del subproducto resultante en las actividades de producción de café, permitirá reevaluar su manejo actual y contemplar la posibilidad de ampliar la cadena de producción para este sector.



Fuente: [www.un.org](http://www.un.org)

# Marco Teórico

Colombia 3er puesto de exportación a nivel mundial.



**Fuente:** [www.istockphoto.com](http://www.istockphoto.com)

Genera grandes cantidades de residuos ricos en compuestos fenolicos.



**Fuente:** (Elaboración propia, 2022)

Existen distintos métodos para extraer estos compuestos.



**Fuente:** (Elaboración propia, 2022)

# Estado del Arte

El mejor resultado de extracción fue en un tiempo de exposición a ultrasonido de 45 minutos, controlando variables tales como frecuencia, potencia y temperatura. (Tobón Arroyave, 2020)

El método que presento una mayor eficiencia en la extracción de los fenoles fue el baño maria, utilizando la solución conformada por agua y etanol en una proporción 1:1. (Silva et al., 2020)

# Objetivo General

Evaluar la extracción de compuestos fenólicos a partir de pulpa de café por el método de ultrasonido, comparando los rendimientos de extracción.

# Objetivos específicos

- Extraer compuestos fenólicos mediante el método de ultrasonido, variando el tiempo de exposición.
- Determinar el contenido fenólico de los extractos obtenidos por el método de ultrasonido.
- Comparar los rendimientos de extracción obtenidos mediante los diferentes tiempos de exposición.

# Metodología



- Pulpa de café madura seca
- Trituración y almacenamiento en bolsas plásticas con sello hermético.
- Tamizaje en pasante malla 30 y retenida malla 60, para un tamaño de partícula  $< 1$  mm

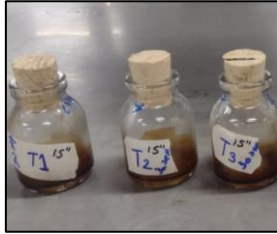
PREPARACIÓN

EXTRACCIÓN POR  
ULTRASONIDO

- Relación 5g:50ml materia seca/solvente
- Proporción 1:1 solventes agua: etanol
- Etanol al 96,6%.
- Ultrasonido, con potencia de 240 W y frecuencia 37 kHz
- US en tiempos de 15, 30 y 45 minutos. Por triplicado a temperatura y presión ambiente.



# Metodología



- Método Folin y Ciocalteu (1997): Curva de calibración de ácido 3,4,5-trihidroxibenzoico con soluciones de 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1 mg/ml
- Los resultados con la curva, elaborados a concentración entre 50-500 ug/ml.

CONTENIDO DE  
FENOLES

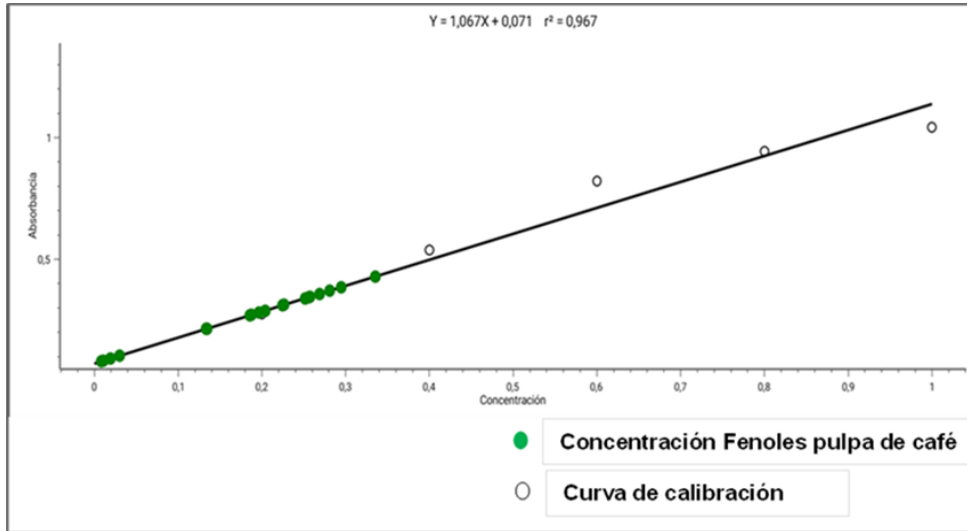
COMPARACIÓN  
DE  
RENDIMIENTO

- Análisis de varianza ANOVA, herramienta estadística Statgraphics Centurion XV

 **statgraphics**  
centurion



# Resultados y Análisis



El  $R^2$  de la curva de calibración arrojó un resultado de 0.967, confirmando que los resultados son confiables.

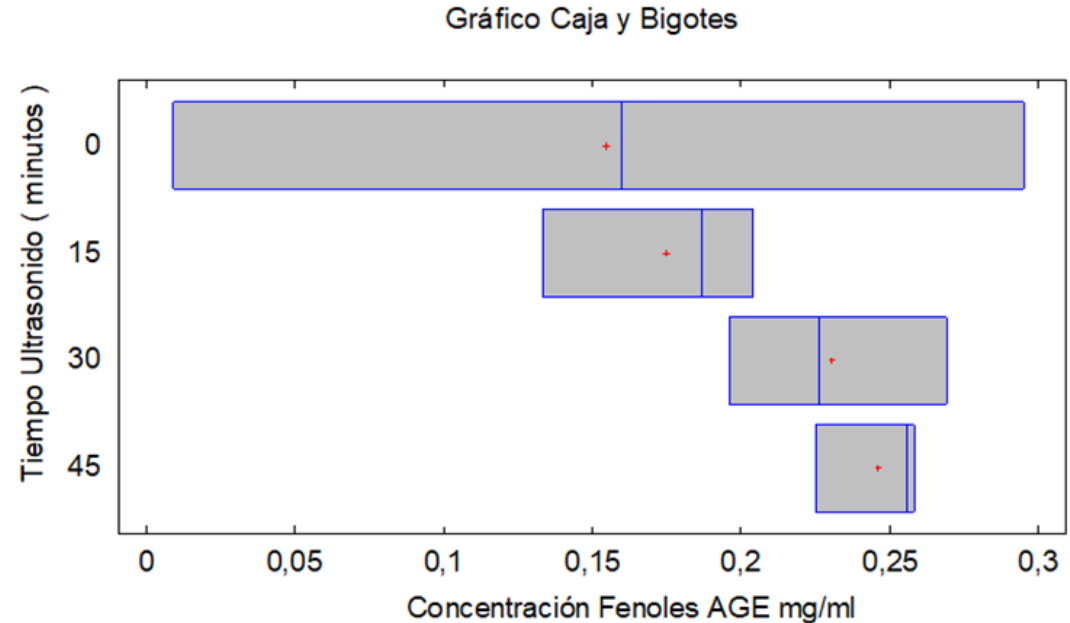
EXPERIMENTO	CONCENTRACIÓN FENOLES TOTALES (mg/ml)
1	0,009
2	0,295
3	0,160
4	0,204
5	0,133
6	0,187
7	0,226
8	0,269
9	0,196
10	0,256
11	0,258
12	0,225

**Fuente:** (Elaboración propia, 2022)

# Resultados y Análisis

No existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos.

En el tiempo de 45 minutos, se obtuvo un promedio de 0,246 mg/ml.



Fuente: (Elaboración propia, 2022)

# Conclusiones

- En el tiempo de 45 minutos es donde se presenta una concentración promedio mayor de fenoles totales.
- El análisis de varianza ANOVA, demostró que no existe una diferencia significativa entre las diferentes concentraciones de los extractos, lo cual indica que los resultados obtenidos son confiables.
- La frecuencia y potencia influyen significativamente en la extracción con ultrasonidos de compuestos fenólicos. Se recomienda realizar el proceso de extracción ajustando estas variables.

# Referencias

Cuesta Parra, D. M., & Correa Mahecha, F. (2018). Obtención de fenoles a partir de granos verdes de café. *Revista ION*, 31(1), 31–35. <https://doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018005>

Fonseca-García, L., Calderón-Jaimes, L. S., & Rivera, M. E. (2014). Capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales en café y subproductos del café producido y comercializado en norte de santander (Colombia). *Vitae*, 21(3), 228–236.

Gobernación de Antioquia. (2020). *Plan de desarrollo Unidos por la vida 2020-2023*. Obtenido de Gobernación de Antioquia:

[https://plandesarrollo.antioquia.gov.co/archivo/PlanDesarrolloUNIDOS\\_VF-comprimidomin.pdf](https://plandesarrollo.antioquia.gov.co/archivo/PlanDesarrolloUNIDOS_VF-comprimidomin.pdf)

*Objetivos de Desarrollo Sostenible | PNUD*. (2015).

<https://Www1.Undp.Org/Content/Undp/Es/Home/Sustainable-Development-Goals.Html>.

<https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>

Tobón Arroyave, N. de la C. (2015).

*Extraccion\_asistida\_ultrasonido\_compuestos\_fenolicos\_pulpa\_c*.

# Referencias

Niknam, S. M., Kashaninejad, M., Escudero, I., Sanz, M. T., Beltrán, S., & Benito, J. M. (2021). Valorization of olive mill solid residue through ultrasound-assisted extraction and phenolics recovery by adsorption process. *Journal of Cleaner Production*, 316(March). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128340>

Ribeiro, E. F., Luzia, D. M. M., & Jorge, N. (2019). Antioxidant compounds extraction from coffee husks: The influence of solvent type and ultrasound exposure time. *Acta Scientiarum - Technology*, 41(1), 1–10. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v41i1.36451>

RobertoBressani, R., Braham, J. E., Elías, L. G., Flores, A., Egaña, J. I., Jarquín, R., Murillo, B., Malina, M. R., & Gómez Grene, R. (1978). *PULPA DE CAFE Composición, tecnología y utilización*.

Serna-Jiménez, J. A., Torres-Valenzuela, L. S., Martínez Cortínez, K., & Hernández Sandoval, M. C. (2018). Aprovechamiento de la pulpa de café como alternativa de valorización de subproductos. *Revista ION*, 31(1), 37–42. <https://doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018006>

Silva, M. de O., Honfoga, J. N. B., Medeiros, L. L. de, Madruga, M. S., & Bezerra, T. K. A. (2020). Obtaining Bioactive Compounds from the Coffee Husk (*Coffea arabica* L.) Using Different Extraction Methods. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 26(1). <https://doi.org/10.3390/molecules26010046>

---

# Gracias

---



# XIX

## SEMANA DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA

PRODUCCIONES ACADÉMICAS E INVESTIGATIVAS DE LOS PROGRAMAS DE PREGRADO Y POSGRADO

Edición en Línea. ISSN 2357-5921 Volumen 10- No 1-2022 Publicación Semestral

# Evaluación de muros verdes como estrategia contra la contaminación atmosférica por material particulado.

**Por :** Simón Pedro López Morales.  
Jenhifer Johana Rios Guerra.  
Isabella Velez Gomez.  
Maritza Perez Perez.

**Asesor temático:** Carlos Fidel Granda Ramírez.  
**Asesor Metodológico:** Luis Alejandro Builes.





# Problema de Investigación

La contaminación atmosférica es un problema que ha incrementado exponencialmente con el paso de los años en la ciudad de Medellín, debido al crecimiento poblacional, comercial e industrial; uno de los principales contaminantes generados por la combustión de fuentes fijas y móviles es el  $PM_{2.5}$ , el cual, tiene varios efectos negativos en la salud de los habitantes del Valle de Aburrá.

Debido a esta situación, se propuso la instalación de muro verde en una vivienda de la ciudad de Medellín, con el fin de que actúe como biofiltro y mitigue la contaminación atmosférica por  $PM_{2.5}$ .



Tomada de: <https://la.network/medellin-una-ciudad-con-problemas-de-contaminacion-del-aire/>

# Objetivos



## General

## Específicos

Estudiar el uso de muros verdes en la remoción de material particulado en el aire.

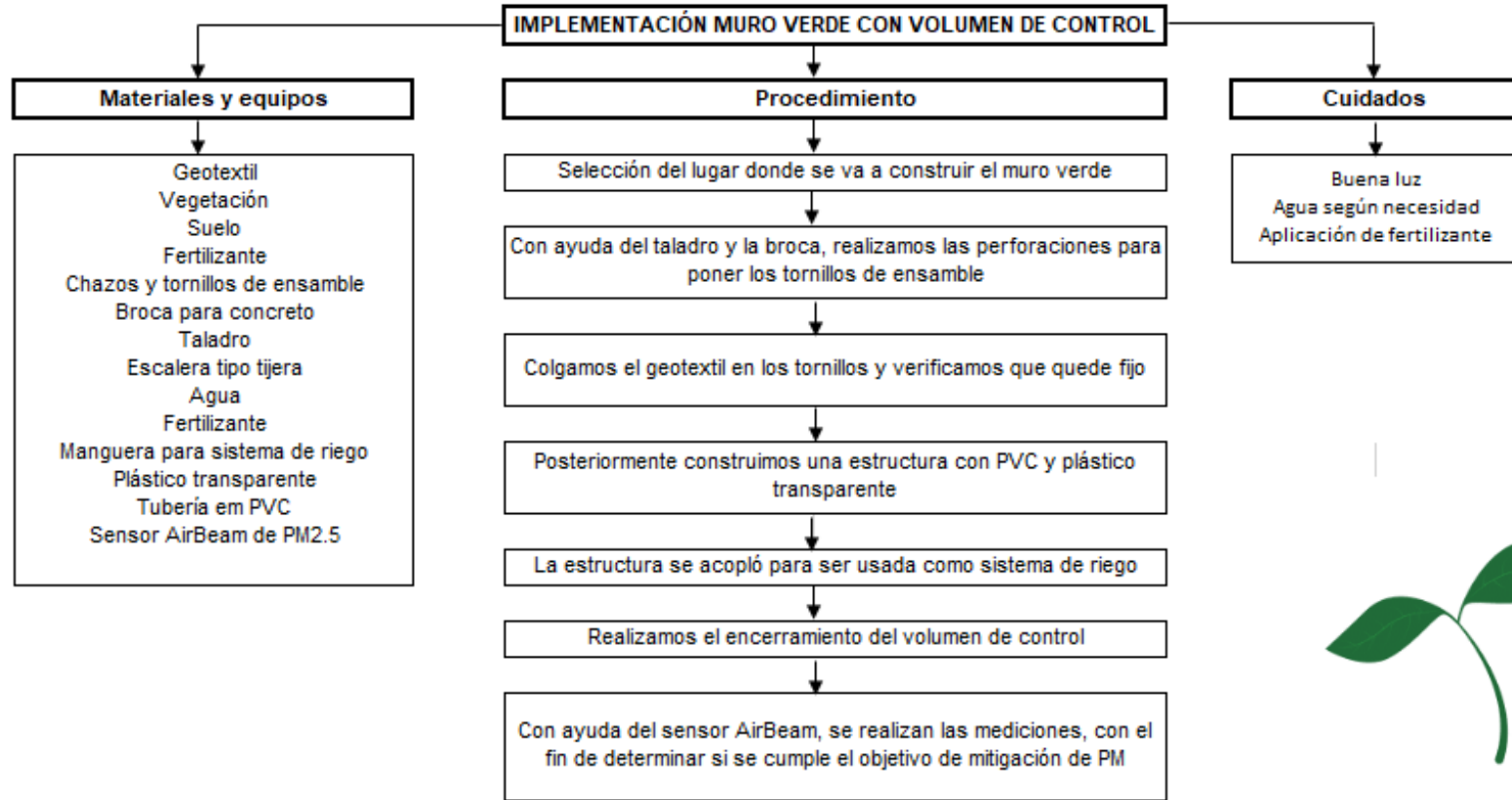
Definir qué tipo de vegetación en Medellín es más eficiente para la filtración de PM.

Analizar qué estructuras son más adecuadas para la fabricación de los muros verdes.

Construir un muro verde para la remoción de material particulado en la ciudad de Medellín.

Determinar la eficiencia de remoción de  $PM_{2,5}$  utilizando un muro verde como volumen de control.

# Metodología



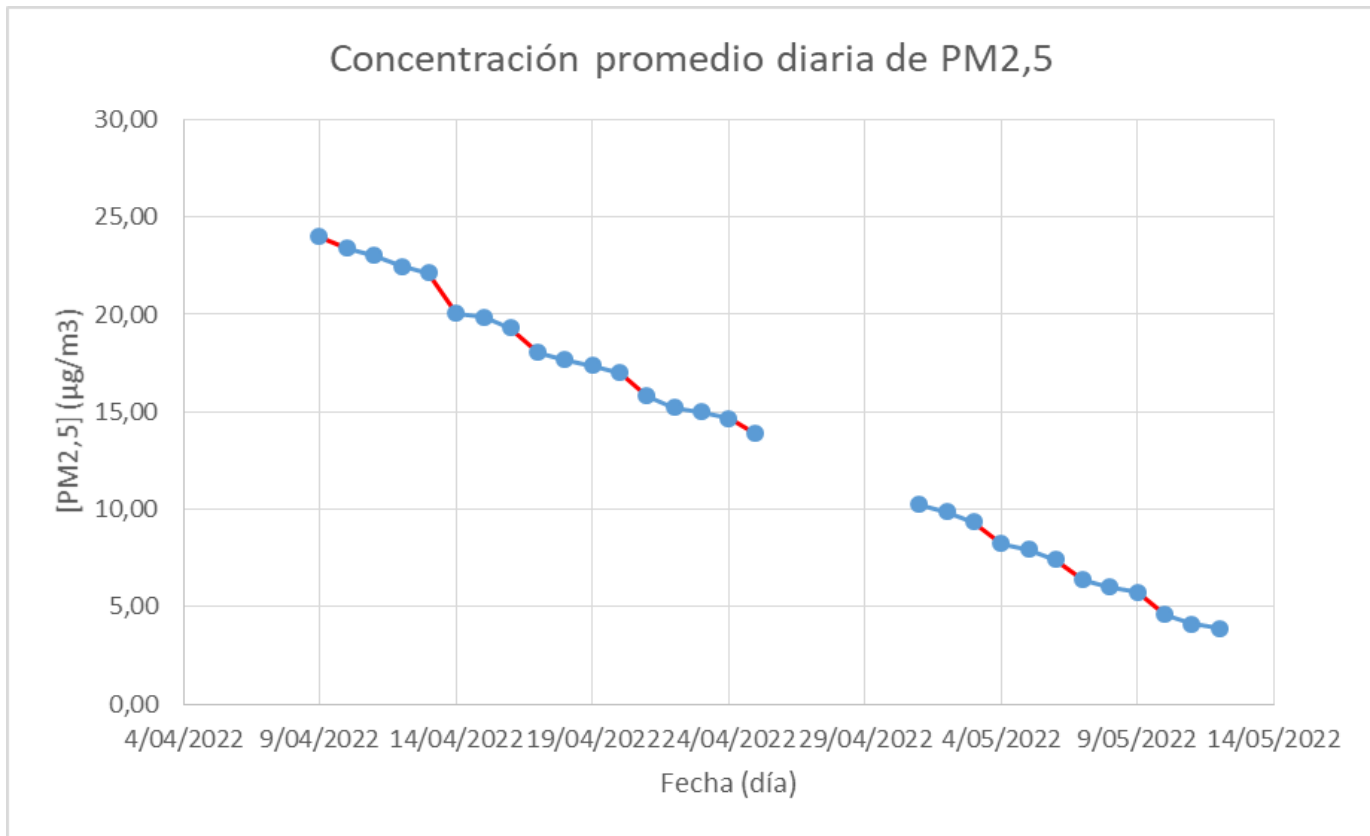
# Resultados



**Muro Verde Construido.**



**Muro verde en Volumen de Control.**

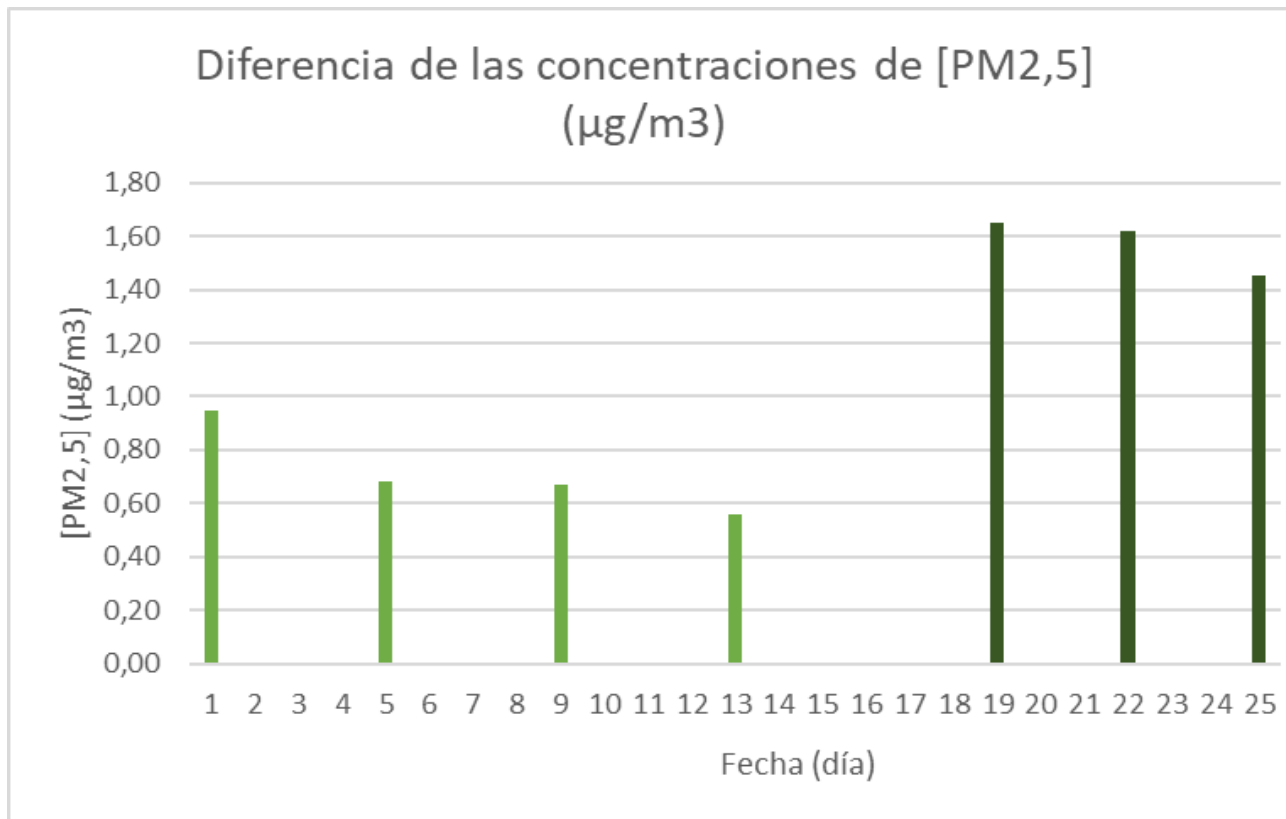


# Resultados

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final}}{\text{Concentración inicial}} * 100$$

$$\% \text{ Remoción} = \frac{24,00 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 3,87 \mu\text{g}/\text{m}^3}{24,00 \mu\text{g}/\text{m}^3} * 100 = 83,875\% = 84\%$$

# Resultados



# Análisis de Resultados

- A partir de los resultados, se puede evidenciar que sí se presentó una reducción en las concentraciones de material particulado, durante los días en que se tomaron los datos. Sin embargo, hay días donde se puede notar una mayor disminución del contaminante, estos días, son los días en que se regaron las plantas; ya que el riego ayuda a transportar el PM2,5 hacia las hojas de las plantas y el sustrato y estos, cuando están en condiciones húmedas, actúan mejor como biofiltros y el aire se purifica más (Abdo et al, 2019, p.82).
- En base a los resultados del porcentaje de remoción el cual fue 84%, nos indica que la estrategia de muro verde cumplió con su finalidad y las concentraciones de material particulado se depositaron en la vegetación.





# Conclusiones

- Para la implementación de esta estrategia para la captación de  $PM_{2,5}$ , es importante contar con plantas que ofrezcan un buen follaje y que sean resistentes, esto, con la intención de que el jardín vertical quede bien tupido y de que las plantas no mueran con facilidad.
- Con la intención de obtener datos fehacientes de si la estrategia Muro verde para la remoción de  $PM_{2,5}$ , es eficiente, es importante realizar un volumen de control utilizando materiales como plástico transparente Y PVC como estructura; esto, ya que el aire es un fluido que se encuentra en renovación constante y con mayor influencia en este caso, pues el patio de la vivienda es a cielo abierto.
- El proyecto indica que los Muros verdes como estrategia para mitigar la contaminación atmosférica por material particulado, es eficiente, pues se obtuvo un porcentaje alto de remoción, en el tiempo en que se midieron las concentraciones del contaminante.
- Las precipitaciones pueden representar un factor disminuyente de los diferentes contaminantes que se encuentran suspendidos en el aire, pues en este proyecto, se evidenció que los días de riego reflejaron una remoción mayor en las concentraciones de  $PM_{2,5}$ .

# Referencias

- Abdo, P., Huynh, B. P., Irga, P. J., & Torpy, F. R. (2019). Evaluation of air flow through an active green wall biofilter. *Urban Forestry & Urban Greening*, 41, 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.03.013>.
- Ana Reyna. (2020, 28 enero). *Jardín vertical con botellas de PET. En vivienda de interés social caso de estudio en Saltillo, Coahuila*. CienciAcierta. <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2020/01/10/jardin-vertical-con-botellas-de-pet-en-vivienda-de-interes-social-caso-de-estudio-en-saltillo-coahuila/>.
- Elo7. (No tiene fecha). *Jardim Vertical - Green GreenUp Design*. Elo7. <https://www.elo7.com.br/jardim-vertical-green-up-50-50/dp/DAFD29#bm=p2p>.
- Geotextil. (No tiene fecha). *Geotextil Para Macetas y Jardines Verticales*. Geotextil. <https://geotextil.com.ar/productos/geotextil-para-macetas-y-jardines-verticales/>.
- Issuu. (2014, 17 junio). *Guía de techos verdes y jardines verticales*. Issuu. [https://issuu.com/ambientebogota/docs/guia\\_de\\_techos\\_verdes\\_y\\_jardines\\_ve](https://issuu.com/ambientebogota/docs/guia_de_techos_verdes_y_jardines_ve).
- Manso, M., & Castro-Gomes, J. (2015). Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 863–871. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203>.
- Martorell, P. (2021, 24 marzo). *5 claves para elegir las plantas de tu jardín vertical*. Blog de Vertiflor. <https://www.vertiflor.com/blog/5-claves-para-elegir-las-plantas-de-tu-jardin-vertical/>.
- Nutricontrol. (2021, 10 marzo). *La humedad relativa en invernadero*. Nutricontrol. <https://nutricontrol.com/es/la-humedad-relativa-en-invernadero/>.
- Ovacen. (2022, 17 enero). *Jardines verticales: 9 Pasos cómo hacer un jardín en casa y terraza*. Ovacen. <https://ovacen.com/jardines-verticales/>.
- Portafolio. (No tiene fecha). *GreenSmart Venta e Instalación de Follaje Artificial, Muros Verdes y Jardines Verticales*. Portafolio. <http://www.greensmart.com.mx/portafolio-2/>.
- Sfera, E. (2017, 26 septiembre). *Cómo hacer un muro verde en tu casa: te mostramos 3 ideas fáciles*. Ecoosfera. <https://ecoosfera.com/medio-ambiente/como-hacer-un-muro-verde-en-tu-casa-te-mostramos-3-ideas-faciles/>.
- SingularGreen, P. (2020, 30 junio). *Las 10 especies que mejor funcionan en Jardines Verticales*. SingularGreen. <https://www.singulargreen.com/10-especies-para-jardines-verticales/>.
- Susorova, I. (2015). Green facades and living walls: Vertical vegetation as a construction material to reduce building cooling loads. *Eco-Efficient Materials for Mitigating Building Cooling Needs*, 127–153. <https://doi.org/10.1016/b978-1-78242-380-5.00005-4>.
- Verdegen. (2021, 3 mayo). *¿Cómo se hacen los Jardines Verticales?* Generación Verde. <https://generacionverde.com/blog/arquitectura-sustentable/como-se-hacen-los-jardines-verticales/>.
- Vertical Magazine. (2021, 28 abril). *Plantas para Jardines Verticales*. Vertical Magazine. <https://verticalmagazine.com/plantas-para-jardines-verticales/>.



# XIX

## SEMANA DE LA FACULTAD DE

# ARQUITECTURA E INGENIERÍA

PRODUCCIONES ACADÉMICAS E INVESTIGATIVAS DE LOS PROGRAMAS DE PREGRADO Y POSGRADO

Edición en Línea. ISSN 2357-5921 Volumen 10- No 1-2022 Publicación Semestral



Alcaldía de Medellín



# Evaluación de la remoción de materia orgánica empleando humedales subsuperficiales en el tratamiento de aguas residuales porcícolas.

**Investigadores:** Sara Isabel Baena Gómez  
Estefany Zapata Jaramillo  
Daniel Bernardo Loaiza Gallego  
Jhoiner Andrey Vanegas Paniagua.

**Asesor temático :** Joan Amir Arroyave Rojas

**Asesor Metodológico:** Gina Hincapié Mejía

**Programa académico:** Ingeniería Ambiental

## Semillero de Investigación en Ciencias Ambientales

# PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

¿La fitorremediación es una alternativa eficiente en la remoción de materia orgánica mediante humedales subsuperficiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas vertidas directamente a la cuenca la Guayabala?



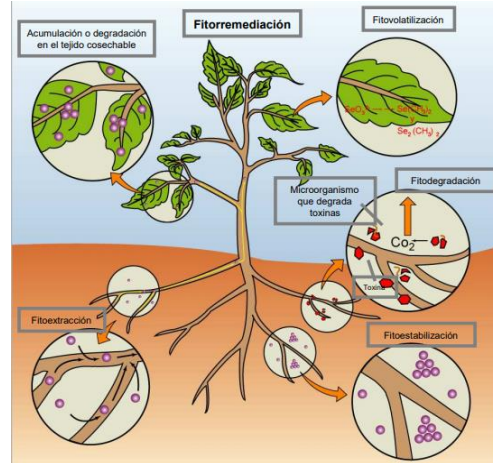
Fotografía propia



<https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-residuales>

## PROBLEMÁTICA

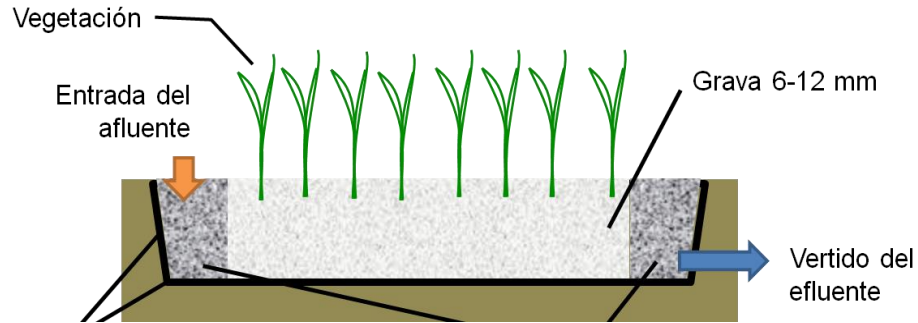
# MARCO TEÓRICO



[https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:FitorremediacionC3%B3n\\_esquema.png](https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:FitorremediacionC3%B3n_esquema.png)



<https://jardinessinfronteras.com/2020/04/20/desde-cuba-sobre-el-cultivo-de-las-heliconias-por-e-jerez/heliconia-psittacorum/>



<https://wetwinesoftware.eu/sistema-wetwine/tecnologia-wetwine/>

**CUADRO I. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES POR SITIO PRODUCTIVO DE DIFERENTES GRANJAS PORCINAS DE TAMAÑO MEDIANO**

Granja	1		2		3		4	5*
	Maternidad	Destete	Maternidad y gestación	Engorda	Mezcla	Engorda	Mezcla	Maternidad
Proceso productivo caracterizado								
Capacidad animales	6000	6600	3000	3000	3000	5000	5500	5600
Tamaño de granja	Mediana	Mediana	Mediana	Mediana	Mediana	Mediana	Mediana	Mediana
Disponibilidad de agua	Media	Media	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Media
Clima del lugar	Cálido-semiseco	Cálido-semiseco	Sub-tropical	Sub-tropical	Sub-tropical	Sub-tropical	Tropical	Templado
Observaciones sobre el muestreo	Durante lavado de naves	Durante lavado de naves	Durante lavado de naves	Durante lavado de naves	Durante lavado de naves	Durante lavado de naves	Dato no disponible	Final de lavado poca agua
DQO (mg/L)	3339	37498	19365	38544	6419	19344	25205	3809
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	2494	5600	9262	9188	2646	9613	8460	1657

Zhang et al. (2007). *Journal of Environmental Sciences*, 19(8)

Heavy metal	Mn	Pb	Cd	Fe
Concentration (mg/L)	2.024	0.211	0.021	2.015

**Table 3 Total removal of heavy metals for six hydrophytes after 15 d**

Hydrophytes	Cu	Cd	Mn	Fe
<i>R. carnea</i>	0.979±0.032	0.952±0.04**	0.987±0.05	0.985±0.034
<i>A. gramineus</i>	0.985±0.021	0.952*±0.03*	0.993±0.032	0.997±0.021*
<i>A. orientale</i>	0.984±0.032	0.929±0.034*	0.99±0.023	0.987±0.033
<i>A. calamus</i>	0.982±0.02	0.905±0.041*	0.993±0.04	0.987±0.025
<i>I. pseudacorus</i>	0.991±0.02*	0.961±0.032**	0.996±0.045	0.996±0.041*
<i>L. salicaria</i>	0.987±0.034	0.922±0.04	0.996±0.035	0.991±0.03*
CK	0.976±0.04	0.833±0.034	0.991±0.033	0.977±0.022

\*Significantly difference ( $P<0.05$ ) from CK, \*\* very significant difference ( $P<0.01$ ) from CK by LSD.

Garzón-Zúñiga, M. A., & Buelna, G. (2014). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(1), 65-79.

# ESTADO DEL ARTE

**Tabla 3. Algunas especies vegetales nativas tropicales utilizadas en fitoremediación.**

Especie	Aplicación	Referencia
<i>Heliconia Psittacorum</i> (Heliconia)	Efecto en el crecimiento al riego con lixiviados de rellenos sanitarios	Torres y Vásquez, (2010)
	Eliminación de DBO <sub>5</sub> , DQO, Nitrato, TKN, NH <sub>4</sub> , orto fosfato y SST	Ascuntar y Toro (2007); Gutiérrez (2009); Mosquera (2010); Ascuntar- et al., (2009) Sandoval (2010);
	Eliminación de DQO, P-PO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub>	Konnerup et al., (2009).
	Eliminación de Materia orgánica y nutrientes	Paulo et al., (2008)
	Eliminación de metales pesados: Cd (II), Cr (VI), Pb (II) y Hg (II).	Madera et al, 2013
	Eliminación de Cr (VI) y Nitrógeno.	Cortes et al, 2013a
Eliminación de DQO, DBO, y NH <sub>4</sub>	Cortes et al, 2013b	

Salamanca et al. (2013). *Journal of Physical Chemistry*, 37(7), 699–701



## Objetivos

### General

Evaluar la eficiencia de la remoción de materia orgánica mediante la implementación de un humedal subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales porcícolas.

### Específicos

- Caracterizar fisicoquímicamente el agua residual de una granja porcícola
- Establecer los parámetros de construcción y operación de los humedales subsuperficiales para el tratamiento del agua residual
- Evaluar la eficiencia de la fitorremediación en los humedales como tratamiento de las aguas residuales porcinas por medio de la medición de parámetros fisicoquímicos en el efluente



Toma de Muestras de Agua Residual Porcícola



Medición y Análisis de Parámetros fisicoquímicos



Proceso de Cribado de la grava 3/4"



Construcción de Dosificadores de Cabeza constante y Cuerpo de los Humedales



Medición y Análisis del porcentaje de Eficiencia de Remoción



Humedales Subsuperficiales



Siembra de *Heliconia psittacorum*

Fuente: Autores

# METODOLOGÍA

# ANÁLISIS Y RESULTADOS

## Granja Porcícola

Proceso Productivo *Cría*

Capacidad de Animales *450 Aprox*

Parámetro	Valor	Desviación Estándar
Sólidos Totales (mg/L)	26675	318,2
Sólidos suspendidos Totales (mg/L)	11625	1445
Sólidos disueltos (mg/L)	15050	-
Demanda Química de oxígeno (mg/L)	1133,35	235,7
Sólidos sedimentables (mL/L)	100	-
pH	7,766	-
Turbidez (NTU)	881,	-
Conductividad ( $\mu$ S/cm)	2,44	-

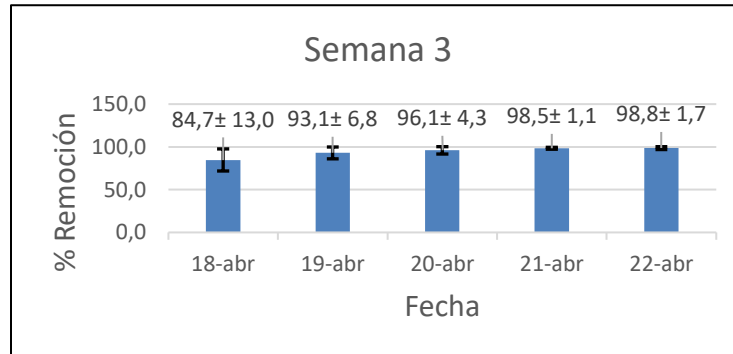
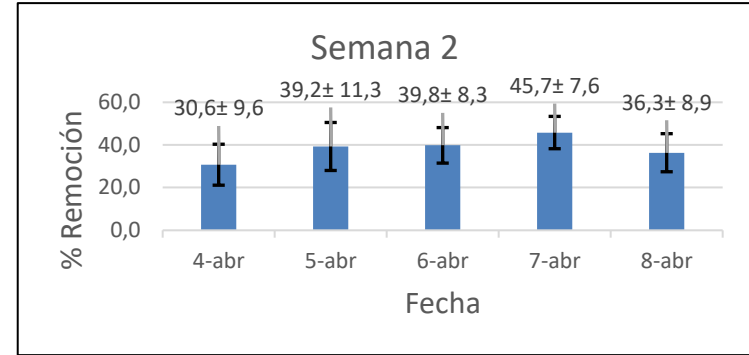
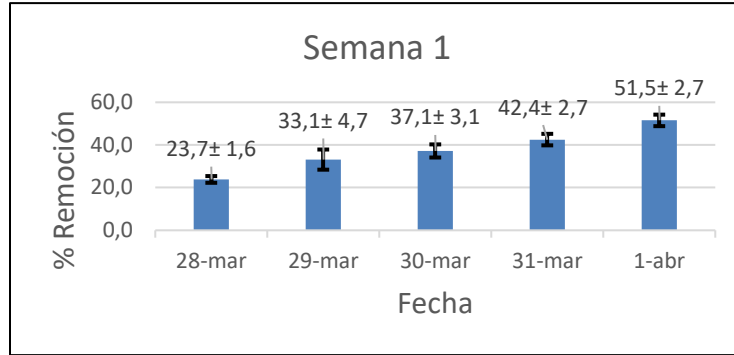
*Caracterización Inicial del agua residual porcícola*

## Res. 631 2015

Parámetro	Valor inicial	Ganadería de Porcinos	Cumple	No cumple
DQO (mg/L)	1133,35	900		X
Sólidos suspendidos Totales (SST) (mg/L)	11625	400		X
Sólidos sedimentables (SSED) (mL/L)	100	5		X

*Comparación de valores iniciales con respecto a la resolución 631 de 2015*

# ANÁLISIS Y RESULTADOS



El mayor porcentaje de remoción se da en la semana 3 con un 98,8%

# CONCLUSIONES

---

Los humedales subsuperficiales construidos demuestran ser altamente eficientes para la remoción de materia orgánica en aguas residuales porcícolas luego del proceso de adaptación de las plantas, ya que son ellas las que realizan mayor parte del trabajo.

Se aconseja la implementación de un sistema de humedales subsuperficiales con la especie *Heliconia psittacorum* en el efluente antes del vertimiento a las fuentes de agua, en los procesos productivos de cría de cerdos, con el fin, de reducir los nutrientes, patógenos y factores contaminantes que pueden generar diferentes afectaciones

El sistema de tratamiento para el agua residual porcícola empleado, además de tener como valor agregado el uso de residuos de construcción y demolición (RCD) en la construcción del cuerpo de los humedales reduciendo impactos medioambientales que los mismos generan, aporta también en comparación con otros métodos a la disminución de la contaminación paisajística, ya que reduce además el impacto visual del proceso

# ALGUNAS REFERENCIAS

- Arias Martínez, S. A., Betancur Toro, F. M., Gómez Rojas, G., Salazar Giraldo, J. P., & Hernández Ángel, M. L. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Informador Técnico*, 74, 12–22. <https://doi.org/10.23850/22565035.5>
- Asamblea Constituyente de Colombia. (1991). Constitución Política de Colombia. [https://www.corteconstitucional.gov.co/inicio/Constitucion política de Colombia - 2015.pdf](https://www.corteconstitucional.gov.co/inicio/Constitucion%20pol%C3%ADtica%20de%20Colombia%20-%202015.pdf)
- B, R., Edward, & Hardenberg. (1987). Tratamiento De Aguas Residuales Capítulo IV. *Continental S.A. de C.V. México D.F.*, 13. [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lar/oropeza\\_b\\_vm/capitulo4.pdf\[o1\]](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lar/oropeza_b_vm/capitulo4.pdf[o1])
- Constitución Política de Colombia, Art. 79.7 de julio de 1991(Colombia)
- Constitución Política de Colombia, Art. 80.7 de julio de 1991(Colombia)
- Congreso de la República de Colombia. (1993). Ley 99 DE 1993. "Por la cual se crea el ministerio de ambiente y SINA" Bogotá, 1993. [https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislación\\_del\\_agua/Ley\\_99.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Ley_99.pdf)
- Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandova, O. (2011). Phytoremediation: An alternative to eliminate pollution. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597–612
- Días, S., Mucha, A. P., Crespo, R. D., Rodrigues, P., & Almeida, C. M. R. (2020). Livestock wastewater treatment in constructed wetlands for agriculture reuse. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(22), 1–21. <https://doi.org/10.3390/ijerph17228592>.
- El ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible. (2015). Resolución 631 de 2015.
- Hach Company. (2000). Manual de análisis de agua. *Cell*, 3(970), 220. <https://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=7639984469>
- Hu, H., Li, X., Wu, S., & Yang, C. (2020). Sustainable livestock wastewater treatment via phytoremediation: Current status and future perspectives. *Bioresource Technology*, 315, 11. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123809>



**VIGILADO** Por el Ministerio de Educación Nacional



Cra 78 N° 65 - 46 Robledo  
Línea de atención al ciudadano 444 56 11 Ext 101  
Línea gratuita 01 8000 415 380  
[WWW.COLMAYOR.EDU.CO](http://WWW.COLMAYOR.EDU.CO)

Activar Windows  
Ve a Configuración para activar Windows.