

Innovación Digital y  
Desarrollo Sostenible

# IDS

Volumen 5, Número 1  
Julio-Diciembre, 2024



ISSN: 2711 - 3760  
DOI.10.47185/27113760  
Medellín, Antioquia

# Sobre la Revista

## COMITÉ EDITORIAL/CIENTÍFICO:

JORGE ELIECER GIRALDO PhD.  
Docente Investigador  
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid

NELSON DAVID MUÑOZ MSc, PhD(c).  
Docente Investigador  
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid

MAURO CALLEJAS CUERVO PhD.  
Docente Investigador  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de  
Colombia.

## EQUIPO EDITORIAL:

JORGE ALBERTO GÓMEZ LÓPEZ PhD.  
Editor Revista  
Vicerrector Académico  
Institución Universitaria Digital de  
Antioquia.

JACQUELINE CASTAÑO DUQUE Esp.  
Directora de Investigaciones  
Institución Universitaria Digital de  
Antioquia.

DIEGO MAURICIO MUÑOZ Ing.  
Profesional de apoyo editorial y gestión OJS  
Institución Universitaria Digital de  
Antioquia.

## SITIO WEB DE LA REVISTA IDS

<http://revistas.iudigital.edu.co/index.php/ids>

## CONTACTO

[editor.revistaid@iudigital.edu.co](mailto:editor.revistaid@iudigital.edu.co)

# Sobre la Revista

La revista “Innovación Digital y Desarrollo Sostenible - IDS” es una publicación académica semestral de ciencia, tecnología e innovación promovida por la coordinación de investigaciones de la Institución Universitaria Digital de Antioquia - IU Digital, Medellín, Colombia. Tiene como objetivo esencial publicar resultados originales de investigación e innovación y generar un espacio dinámico de discusión académica en los campos del conocimiento relacionados con las ciencias básicas e ingenierías, ciencias agrarias, ciencias sociales y humanas. En este contexto, la revista IDS publica dos veces por año artículos transdisciplinarios sobre sus líneas de investigación y su relación con diversas áreas del conocimiento científico.

La revista “Innovación Digital y Desarrollo Sostenible - IDS” es el vector que nos permite dinamizar nuestras líneas de investigación fundamentales:

- 1) Sostenibilidad Ambiental
- 2) Ingenierías
- 3) Innovación Digital
- 4) Desarrollo Social

Para desplegar la transformación social y digital en diferentes áreas del conocimiento. Emerge como el espacio aceptado de quienes estén interesados en la expresión y el avance del conocimiento científico; respaldados, -preferiblemente- en trabajos formalmente avalados por sus instituciones o grupos de investigación a los cuales pertenezcan. La revista permite la publicación de trabajos en inglés y español de autores nacionales o extranjeros.

## POLITICA DE ACCESO ABIERTO

El contenido de la revista es de acceso abierto y está bajo una licencia de [Creative Commons Reconocimiento-No Comercial- Compartir Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/). La revista no realiza ningún cobro a los autores por la recepción, evaluación y publicación de los artículos sometidos a su consideración.



## CONVOCATORIA PERMANENTE

La Revista “Innovación Digital y Desarrollo Sostenible - IDS” invita a los interesados a enviar artículos para su publicación en este medio. La convocatoria para recepción de artículos es permanente (durante todo el año), habrá dos fechas de corte, para la revista a publicarse en el primer semestre y para la revista a publicarse en el segundo semestre de cada año. Por favor leer en detalle las [directrices para autores](#). Para más información de cómo subir los archivos de un artículo a través de la plataforma OJS (Open Journal Systems) visite [el tutorial de envío](#) de artículos (Recuerde que para nuestra revista el cuarto paso del envío: cargar archivos complementarios “Formato carta de presentación del artículo” y “Formato de autores” es obligatorio).

La Revista “Innovación Digital y Desarrollo Sostenible - IDS” es una publicación editada por la Institución Universitaria Digital de Antioquia. Los conceptos y opiniones expresados en los artículos firmados, son responsabilidad de los autores.

# Sobre la Revista

## Tabla de Contenido

Editorial .....	5
1. Identificación De Ocurrencia De Incendios Forestales En Áreas De Protección Colombia Entre Los Años 2020-2023: Análisis A Partir Del Procesamiento De Datos Geográficos .....	6
2. Procrastinación académica y comportamiento de gestión del tiempo en estudiantes universitarios: un estudio piloto .....	12
3. Análisis Espacial como Instrumento para la Definición Física de Nodos Subregionales de la Institución Universitaria Digital de Antioquia .....	19
4. Caracterización y desafíos comerciales de los pequeños y medianos productores del municipio de Sonsón .....	32
5. Valoración Económica De Los Servicios Ecosistémicos Que Proveen Los Humedales Del Área Urbana Del Municipio De Valledupar, Cesar .....	47
6. Evaluación del potencial de <i>Eleocharis elegans</i> mediante humedales artificiales en la fitorremediación de agua residual coloreada proveniente de la agroindustria de las flores .....	57
7. Implementación de un Sistema De Alertas Tempranas Para Prevenir La Propagación De La Enfermedad Sigatoka Negra En Cultivos De Plátano Y Banano En El Municipio De Apartadó (Urabá)-	72
8. Percepciones de Ciencia, Tecnología e Innovación en la Ruralidad: Comparación de la III Encuesta Nacional con una Encuesta Piloto Realizada en una Comunidad Caficultora de Ituango-----	78
9. Mecanismo De Pago Por Servicios Ambientales Del Páramo Sabana Rubia En El Municipio De Manaure Departamento Del Cesar .....	88

# Sobre la Revista

## EDITORIAL

Estimado lector,

La revista IDS “Innovación Digital y desarrollo Sostenible” de la Institución Universitaria Digital de Antioquia, siempre con el compromiso de hacer visibles artículos que resultan de investigaciones y estudios realizados no solo por docentes y profesionales de diferentes áreas sino que también acude a artículos de estudiantes de todas las instituciones locales, nacionales e internacionales, muchos de estos artículos no necesariamente son de un alto grado de alcance científico por lo que de esta manera queremos que muchos autores tengan espacios donde publicar sus ponencias, sin que esto signifique que el proceso que se le realiza a los escritos se salgan de las directrices que tiene la revista para tal fin.

De esta forma queremos motivar y cautivar a más autores a que divulguen sus obras a través de esta revista, la cual tiene un amplio espectro de publicación, desde sus líneas de investigación hasta muchos escritos no menos importantes de Divulgación.

En este número también queremos ser incluyentes por tal razón podrán leer artículos relacionados con las condiciones académicas de estudiantes universitarios y los desafíos comerciales de pequeños y medianos productores del sector rural como también las condiciones en salud física y psicosocial de trabajadores del agro.

Recordamos que todos los números publicados de la revista están disponibles en el sistema OJS a través del siguiente enlace: <http://revistas.iudigital.edu.co/>. Desde esta plataforma, los lectores pueden acceder a los contenidos de cada edición y disfrutar de los artículos científicos, tecnológicos e innovadores que se han difundido a lo largo del tiempo.

¡Gracias por su interés en la revista IDS!

Cordialmente,

Equipo Editorial

Revista Innovación Digital y Desarrollo Sostenible - IDS

Institución Universitaria Digital de Antioquia

# Identificación De Ocurrencia De Incendios Forestales En Áreas De Protección Colombia Entre Los Años 2020-2023: Análisis A Partir Del Procesamiento De Datos Geográficos

Ceballos, Yony Fernando<sup>1(\*)</sup>; Vásquez, Camila<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Antioquia, Facultad de ingeniería, Medellín, Colombia

<sup>2</sup>Institucion universitaria digital de Antioquia, Facultad de ingenierías, Medellín, Colombia

**Resumen:** Colombia es uno de los cinco países con mayor diversidad biológica a nivel internacional y debe gestionar eficazmente zonas terrestres, marinas, sistemas nacionales y regionales de áreas protegidas completos. Un área protegida es un territorio designado por su singularidad en valores naturales y su preservación está a cargo del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP). No obstante, existen zonas que pueden ser afectadas por incendios forestales de origen natural o provocados por el hombre. Simultáneamente, entidades como la NASA se dedican a recolectar información a partir de diferentes satélites y generar información accesible a cualquier usuario para realizar análisis cruzados. En ese trabajo se toman datos geoespaciales de las áreas protegidas y se cruzan con los mapas de incendios disponibles en la NASA para identificar cuáles regiones de Colombia tienen mayor propensión a ser afectadas y como trabajo futuro se propone priorizar diferentes políticas orientadas a sostenibilidad ambiental.

**Palabras clave:** Incendios. Áreas protegidas. GIS. Sostenibilidad ambiental.

Recibido: 22 de mayo de 2024. Aceptado: 30 de agosto de 2024

Received: May 22nd, 2024. Accepted: August 30th, 2024

## Identification of the occurrence of forest fires in protected areas Colombia between the years 2020-2023: Analysis from the processing of geographic data

**Abstract:** Colombia is one of the five most biologically diverse countries at the international level and must effectively manage terrestrial, marine, national and regional systems of protected areas. A protected area is a territory designated for its uniqueness in natural values and its preservation oversees the National System of Protected Areas (SINAP). However, there are areas that can be affected by natural or man-made forest fires. At the same time, entities such as NASA are dedicated to collecting information from different satellites and generating information accessible to any user for cross-analysis. In this work, geospatial data from protected areas are taken and cross-referenced with fire maps available from NASA to identify which regions of Colombia are most likely to be affected and as future work it is proposed to prioritize different policies aimed at environmental sustainability.

**Keywords:** Forest fires. Protected areas. GIS. Environmental sustainability.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales, cada vez más frecuentes y severos a nivel global, representan un grave peligro ecológico y ambiental (*Forests and the Future: A Crisis Raging Out of Control*, 2020). Éstos son una amenaza importante para los ecosistemas y los recursos naturales (Hardy, 2005; Stephens et al., 2013). Durante el verano de 2019-2020, Australia sufrió incendios que devastaron 10 millones de hectáreas y causaron la muerte de más de 1000 millones de animales. La selva amazónica, vital para la producción de oxígeno, también fue severamente afectada en 2019 por numerosos incendios en Brasil, Bolivia y Colombia, disminuyendo su capacidad de actuar como los pulmones del mundo (Da Ponte et al., 2023). Las áreas de protección natural son espacios geográficos que han sido designados para conservar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Son importantes porque brindan una serie de beneficios, entre los que se destacan: Conservación de la biodiversidad, provisión de servicios ecosistémicos y apoyo al desarrollo sostenible (Bontempi et al., 2023). Por otro lado, los incendios forestales son una catástrofe natural que puede causar daños a la vida humana, la propiedad y el medio ambiente y se pueden generar por causas naturales o humanas. Las causas naturales de los incendios forestales incluyen rayos, volcanes y clima extremo y las causas humanas incluyen fogatas mal apagadas, colillas de cigarrillos, actividades recreativas e incendios intencionales. Sin embargo, los incendios intencionales son causados por personas que deliberadamente prenden fuego a la vegetación (Parhizkar & Cerdà, 2023).

Por lo anterior, los incendios forestales son una amenaza constante para las áreas naturales protegidas. Es por esto por lo que, en este trabajo, se realiza un cruce de la información obtenida desde la SINAP y se cruza con los datos FIRMS de los años 2020 a 2023 (Dhar et al., 2023), para identificar cuales departamentos tienen la mayor cantidad de incendios en zonas protegidas y se proponen estrategias de uso de esta información por parte de las autoridades competentes.

## 2. MARCO TEÓRICO

En Suramérica, países como Brasil que poseen gran parte de su área dedicada a servicios forestales son afectados por deforestación dada por diferentes razones. Entre ellas existen los incendios inducidos para posteriormente realizar actividades agropecuarias en tales zonas (da Silva, 2024). Diversas normas se han elaborado para evitar la aparición de incendios, todas estas orientadas a penas pecuniarias o privativas de la libertad y en conjunto con lo anterior, se han elaborado diversas técnicas para la identificación de los mismos (Alkhatib, 2014; Stephens, 2005).

Los cambios de uso del suelo con servicios forestales en Colombia se produce a partir de la necesidad de explotación agropecuaria (Vanegas-Cubillos et al., 2022). Analizamos los patrones temporales y espaciales de los incendios en el Caribe colombiano, encontrando que la ocurrencia de incendios está controlada por variables climáticas, antropogénicas y de cobertura del suelo, con una alta variabilidad intra-anual y el

86% de los incendios ocurriendo en la temporada seca (Hoyos et al., 2017).

En Colombia, los incendios forestales son una causa importante de deforestación y degradación del suelo y se han realizado estudios de los impactos de los mismos en los ecosistemas existentes en el país (Bolaño-Díaz et al., 2022; D. et al., 2011).

Las zonas ambientales protegidas son áreas designadas para la conservación de la biodiversidad y los recursos naturales (Fromont et al., 2024; Saout et al., 2013). En Colombia, las zonas ambientales protegidas representan aproximadamente el 20% del territorio nacional.

Para dimensionar la gravedad del problema, un incendio forestal en el Parque Nacional Yosemite arrasó con más de 100.000 hectáreas de bosques. Este causó la muerte de miles de árboles y plantas, y afectó a la población de animales silvestres, como osos, ciervos y aves (Brown & Jenkins, 2023; Da Ponte et al., 2023). Por tal razón, el *fire information for resource management system* (FIRMS) de la NASA es una herramienta valiosa para identificar incendios de diferentes orígenes en todo el mundo en tiempo real, así como para rastrear su progreso y tamaño (Dhar et al., 2023; Gaudreau et al., 2016).

En visualización de estos eventos, se han realizado diversos trabajos que permiten realizar una alerta temprana de aparición de incendios, pero generalmente tales investigaciones son desconectadas del problema de incendios en zonas forestales protegidas (Denham et al., 2022; Fernández-Méndez et al., 2016; Pereira et al., 2022). Algunos de los procesos realizados en Colombia son localizados y no presentan continuidad en el tiempo (Fernández-Méndez et al., 2016; Ocampo-Zuleta & Beltrán-Vargas, 2018).

Esta investigación se basa en la teoría de la gestión de recursos naturales, que sostiene que la conservación de estos es importante para el bienestar humano.

## 3. METODOLOGÍA

En este trabajo se utilizaron datos de carácter público y obtenidos del Geoportal de la NASA, en específico los asociados a los sistemas de Información de Incendios FIRMS (NASA-FIRMS, 2010). En este conjunto de datos geográficos, el *Fire Radiative Power* (FRP) es la tasa de emisión de energía radiativa por unidad de tiempo proveniente de todos los incendios dentro de un píxel. Este se ha utilizado ampliamente como un indicador de la intensidad del fuego para caracterizar tipos de incendios y está relacionado con la tasa de combustión de biomasa y la tasa de emisiones. Las estimaciones de FRP se proporcionan para datos de incendios activos de sensores como MODIS, VIIRS y diversos sensores geoestacionarios utilizados en FIRMS.

Se construyó un código desarrollado en *Python* y uso de ArcGIS® en el que se usaron librerías de geoprocetamiento (*Geopandas, Shapely, matplotlib, contextily*) para determinar las ubicaciones en Colombia donde hay registros de la variable FRP.

Para visualizar el Índice FRP en un mapa, se sigue un proceso utilizando las bibliotecas *contextily* y *geopandas* en *Python*. Primero, se importan las bibliotecas necesarias, específicamente *matplotlib* para la visualización de gráficos, *contextily* para agregar un mapa base, y *geopandas* para manejar los datos geoespaciales. A continuación, se configura la figura y el eje del gráfico mediante la función *plt.subplots*, definiendo un tamaño adecuado para la visualización.

Luego, se carga la capa de datos geográficos que contiene los valores del FRP y se plotea en el eje previamente creado. La capa se visualiza con una opacidad del 50% y un tamaño de marcador adecuado para representar los datos. Posteriormente, se añade el mapa base utilizando *contextily* para proporcionar contexto geográfico a la visualización. Se especifica la proyección de coordenadas de la capa de datos y se selecciona la fuente del mapa base de *CartoDB Positron*. Finalmente, se añade un título al mapa y se muestra la visualización completa. Este código identifica aquellos lugares públicos que se encuentran relacionados espacialmente y se intersecan las áreas naturales protegidas y los departamentos (*Colombia Boundaries 2018*) del servidor de ArcGis Online.

Para visualizar el Índice FRP en un mapa y graficar su promedio diario, se sigue el siguiente procedimiento utilizando las bibliotecas *contextily*, *geopandas*, y *matplotlib* en *Python*. Primero, se configuran las bibliotecas necesarias. Se importa *matplotlib* para la visualización de gráficos, *contextily* para agregar un mapa base, y *geopandas* para manejar los datos geoespaciales. Con estos elementos, se crea una figura y un eje utilizando la función *plt.subplots*, estableciendo un tamaño adecuado para la visualización. Luego, se carga la capa de datos geográficos que contiene los valores del FRP y se plotea en el eje con una opacidad del 50% y un tamaño de marcador pequeño. Se agrega un mapa base de *CartoDB Positron* usando *contextily* y se especifica la proyección de coordenadas correspondiente. Finalmente, se añade un título al mapa y se muestra la visualización.

Además de la visualización espacial, se analiza la serie temporal del FRP. Se agrupan los datos por fecha de adquisición (*ACQ\_DATE*) y se calcula el promedio diario del FRP. Esta información se almacena en un nuevo *GeoDataFrame*. Para asegurar la consistencia espacial, se asigna una geometría fija a cada entrada del *GeoDataFrame*. Luego, se realiza una gráfica de línea del promedio diario del FRP a lo largo del tiempo, con fechas en el eje x y valores de FRP en el eje y. Se añade un título al gráfico y se habilita una cuadrícula para facilitar la interpretación visual de los datos. Finalmente, se muestra el gráfico resultante.

Esta intersección permite construir una escala de departamentos que deben priorizar su manejo especial en áreas protegidas, con el fin de minimizar el impacto de los incendios en dichos ecosistemas.

#### 4. RESULTADOS

Como proceso de análisis se hace un procedimiento de cruce entre la información solicitada de FIRMS, la cual trae puntos geoespaciales, fechas de ocurrencia de tales registros e información asociada a, *Brightness, Scan, Track, Acq\_Date, Acq\_Time, Satellite, Instrument, Confidence, Version, Bright\_T31, FRP, Daynight, Type* y *Geometry*.

En la Figura 1 se presenta el mapa de Colombia en el cual se pueden evidenciar las diferentes intensidades de temperatura recibidas por los satélites desde el 2020 a 2023 (FRP). En este se pueden identificar zonas de mayor intensidad distribuidas en ubicaciones asociadas a espacios de reserva natural, zonas de producción agrícola, zonas de producción minera, construcciones civiles y en zonas urbanas sin categorizar. Cabe anotar que las zonas que presentan menor aparición de incendios son aquellas asociadas a bosques lluviosos y ubicaciones de las cordilleras oriental y central, las cuales tienen alturas superiores a 2000 metros sobre el nivel del mar.

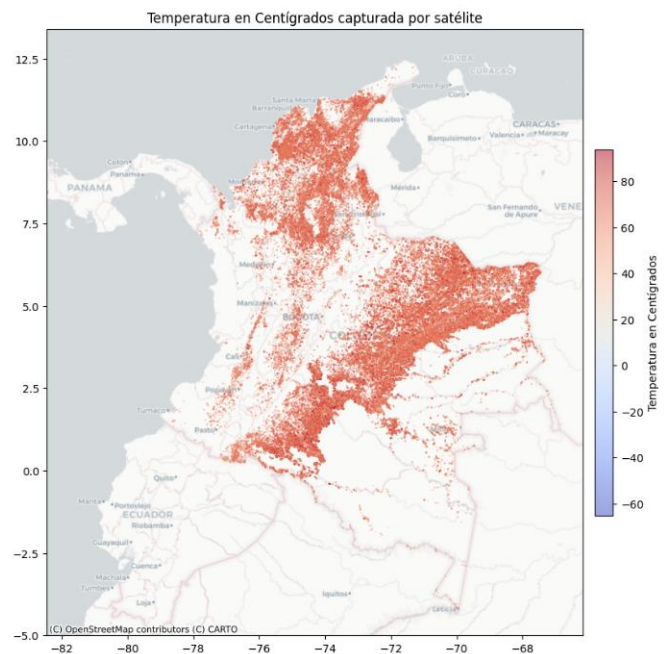


Figura 1. FRP en Colombia.

Los datos históricos obtenidos, como representan una serie temporal de la aparición de incendios en Colombia también se evalúan como promedios diarios de la información, obteniendo los datos que se presentan en la figura 2 (fragmento de los datos totales de FRP). Se puede observar que existen ciclos de aparición de incendios, los cuales se asocian a la aparición de los fenómenos del niño y la niña, y el incremento de la probabilidad de lluvias debido a sequías.



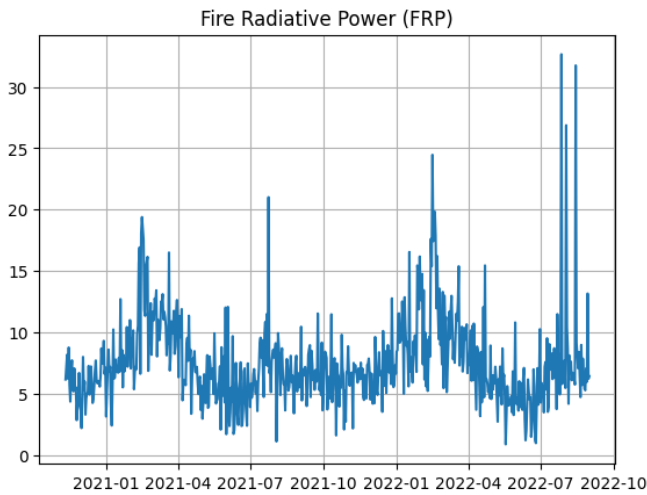


Figura 2. FPR promedio diario entre los años 2021 y 2022.

Desde el repositorio de mapas de ArcGIS se hace la descarga del mapa de zonas protegidas y del mapa de departamentos y se hace una intersección entre los datos históricos de FRP obtenidos en conjunto con las áreas de protección. Posteriormente se realiza un proceso de construcción de tabla con la frecuencia de incendios por cada uno de los departamentos de Colombia y se grafica esta frecuencia. Los resultados de estos procedimientos se presentan en la figura 3.



Figura 3. Incendios en Áreas protegidas en Colombia (2020-2023)

Se puede observar existe una gran cantidad de incendios en los bordes de las zonas protegidas y en especial en la zona de los llanos orientales. En la tabla 1 se puede observar la frecuencia

de incendios en cada uno de los departamentos de Colombia contados por número de ocurrencias.

Tabla 1. Incendios por departamento

#	%	Departamento	#	%	Departamento
931	24,8%	Vichada	69	1,84%	Boyacá
367	9,78%	La Guajira	60	1,60%	Cundinamarca
338	9%	Córdoba	57	1,52%	Chocó
268	7,14%	Meta	42	1,12%	Norte de Santander
249	6,63%	Santander	41	1,09%	Hula
241	6,42%	Magdalena	30	0,8%	Valle del cauca
172	4,58%	Putumayo	30	0,8%	Sucre
124	3,3%	Guaviare	26	0,69%	Vaupés
114	3,04%	Caquetá	26	0,69%	Amazonas
111	2,96%	Casanare	21	0,56%	Arauca
98	2,61%	Tolima	5	0,13%	Bolívar
97	2,58%	Antioquia	2	0,05%	Bogotá, DC
84	2,24%	Caldas	1	0,03%	Cauca
77	2,05%	Guainía	1	0,03%	Atlántico
72	1,92%	Cesar	100%		Total

El departamento de Vichada presenta el mayor número de incendios en el periodo de 2020 a 2023, con un total de 931 incidentes, lo que representa el 24.8% del total de incendios reportados en Colombia. Este dato es significativo, ya que Vichada tiene casi tres veces más incendios que el siguiente departamento en la lista, La Guajira, que reporta 367 incendios (9.78%). Otros departamentos con altas incidencias de incendios incluyen Córdoba (9%), Meta (7.14%), y Santander (6.63%). Estos cinco departamentos juntos suman el 57.35% de todos los incendios reportados, lo que indica una concentración significativa de estos eventos en ciertas áreas del país. Esta concentración puede estar relacionada con factores ambientales, económicos, y sociales específicos de estas regiones.

En contraste, algunos departamentos presentan un número muy bajo de incendios. Boyacá, Cundinamarca, Chocó, Norte de Santander, Huila, Valle del Cauca, Sucre, Vaupés, Amazonas, Arauca, Bolívar, Bogotá, DC, Cauca, y Atlántico reportan menos del 2% de los incendios cada uno, con departamentos como Bogotá, DC, Cauca y Atlántico registrando solo 2, 1, y 1 incendios respectivamente. Estos bajos números podrían estar asociados a diferentes condiciones climáticas, prácticas de manejo de tierras, y medidas preventivas implementadas en estas regiones. El análisis de estos datos puede proporcionar una base para entender las variaciones regionales en la ocurrencia de incendios y orientar políticas y estrategias de prevención y mitigación adaptadas a las necesidades específicas de cada departamento.

## 5. CONCLUSIONES

El empleo de GIS con los datos de FIRMS puede ser útil para analizar el tamaño y la distribución de los incendios forestales en áreas protegidas. Esto puede ayudar a los administradores de las áreas protegidas a comprender el impacto potencial de los incendios en la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Además, se pueden utilizar para identificar los factores que contribuyen a los incendios forestales en tales áreas. Esto puede ayudar a los gestores a tomar medidas para prevenir o mitigar los incendios en el futuro.

Hay varias razones por las que Vichada tiene más incendios que otras partes de Colombia por su gran superficie de bosques y sabanas, que son ecosistemas propensos a los incendios, en conjunto con que tiene un clima tropical húmedo, con temperaturas altas, creando condiciones ideales para la propagación de incendios. Lo anterior se le agrega que la población es pequeña, lo que dificulta la detección y extinción de incendios.

Como políticas de gobierno, pueden realizarse planes de educación ambiental, instalando sistemas de detección temprana de incendios y la implementación de planes de manejo de incendios. Al tomar medidas como estas se puede ayudar a proteger la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que brindan estos espacios.

## REFERENCIAS

- Alkhatib, A. A. A. (2014). A review on forest fire detection techniques. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 10(3). <https://doi.org/10.1155/2014/597368>
- Bolaño-Díaz, S., Camargo-Cañedo, Y., Tovar Bernal, F., & Bolaño-Ortiz, T. R. (2022). The Effect of Forest Fire Events on Air Quality: A Case Study of Northern Colombia. *Fire*, 5(6). <https://doi.org/10.3390/fire5060191>
- Bontempi, A., Venturi, P., Del Bene, D., Scheidel, A., Zaldo-Aubanell, Q., & Zaragoza, R. M. (2023). Conflict and conservation: On the role of protected areas for environmental justice. *Global Environmental Change*, 82. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102740>
- Brown, M., & Jenkins, J. S. (2023). Wildfire-driven entry closures influence visitor displacement and spending to alternative park entrance corridors and gateway communities around Yosemite National Park. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2023.100675>
- D., A.-P., J., R.-A., R., M.-H., M., R.-C. R., F., G.-A., & M., M.-R. (2011). Characterising fire spatial pattern interactions with climate and vegetation in Colombia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(3), 279–289. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.11.002>
- Da Ponte, E., Alcasena, F., Bhagwat, T., Hu, Z., Eufemia, L., Dias Tureta, A. P., Bonatti, M., Sieber, S., & Barr, P. L. (2023). Assessing wildfire activity and forest loss in protected areas of the Amazon basin. *Applied Geography*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2023.102970>
- da Silva, T. F. M. R. (2024). The effect of fire-induced forest-degradation on rainfall: a causal inference analysis of the case of the Brazilian Amazon. *World Development Sustainability*, 100162. <https://doi.org/10.1016/j.wds.2024.100162>
- Denham, M. M., Waidelich, S., & Laneri, K. (2022). Visualization and modeling of forest fire propagation in Patagonia. *Environmental Modelling and Software*, 158(February), 105526. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105526>
- Dhar, T., Bhatta, B., & Aravindan, S. (2023). Forest fire occurrence, distribution and risk mapping using geoinformation technology: A case study in the sub-tropical forest of the Meghalaya, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100883>
- Fernández-Méndez, F., Velasco-Salcedo, V. M., Guerrero-Contecha, J., Galvis, M., & Neri, A. V. (2016). Recuperación ecológica de áreas afectadas por un incendio forestal en la microcuenca tintales (Boyacá, Colombia). *Colombia Forestal*, 19(2), 143–160. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.2.a02>
- Forests and the Future: A Crisis Raging Out of Control, WWF—World Wide Fund for Nature: Gland, Switzerland \_\_\_\_ (2020). [https://wwf.panda.org/discover/our\\_focus/forests\\_practice/forest\\_publications\\_news\\_and\\_reports/fires\\_forests/](https://wwf.panda.org/discover/our_focus/forests_practice/forest_publications_news_and_reports/fires_forests/)
- Fromont, C., Carriere, S., Bedecarrats, F., Razafrindakoto, M., & Rouband, F. (2024). Long-term socio-environmental monitoring of protected areas is a persistent weak point in developing countries: Literature review and recommendations. *Biological Conservation*, 290. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110434>
- Gaudreau, J., Perez, L., & Drapeau, P. (2016). BorealFireSim: A GIS-based cellular automata model of wildfires for the boreal forest of Quebec in a climate change paradigm. *Ecological Informatics*, 32, 12–27. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.12.006>
- Hardy, C. C. (2005). Wildland fire hazard and risk: Problems, definitions, and context. *Forest Ecology and Management*, 211(1–2), 73–82. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.01.029>
- Hoyos, N., Correa-Metrio, A., Sisa, A., Ramos-Fabiel, M. A., Espinosa, J. M., Restrepo, J. C., & Escobar, J. (2017). The environmental envelope of fires in the Colombian Caribbean. *Applied Geography*, 84, 42–54. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.05.001>

NASA-FIRMS. (2010). NRT VIIRS 375 m Active Fire product VNP14IMG distributed from NASA FIRMS. NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC).  
[https://doi.org/doi:10.5067/VIIRS/VJ214IMG\\_NRT.002](https://doi.org/doi:10.5067/VIIRS/VJ214IMG_NRT.002)

Ocampo-Zuleta, K., & Beltrán-Vargas, J. (2018). Dynamic modeling of forest fires in the eastern hills of Bogota, Colombia. *Madera Bosques*, 24(3), 1–20.  
<https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431662>

Parhizkar, M., & Cerdà, A. (2023). Modelling effects of human-caused fires on rill detachment capacity based on surface burning of soils in forest lands. *Journal of Hydrology*, 624. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129893>

Pereira, G., Longo, K. M., Freitas, S. R., Mataveli, G., Oliveira, V. J., Santos, P. R., Rodrigues, L. F., & Cardozo, F. S. (2022). Improving the south America wildfires smoke estimates: Integration of polar-orbiting and geostationary satellite fire products in the Brazilian biomass burning emission model (3BEM). *Atmospheric Environment*, 273(January).  
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.118954>

Saout, L., S., H., M., S., Y., H., A., B., C., B., M., T., & Rodrigues, A. S. (2013). Protected Areas and Effective Biodiversity Conservation. *Science*, 342(6160), 803–805.

Stephens, S. L. (2005). Forest fire causes and extent on United States Forest Service lands. *International Journal of Wildland Fire*, 14(3), 213–222. <https://doi.org/10.1071/WF04006>

Stephens, S. L., Agee, J. K., Fulé, P. Z., North, M. P., Romme, W. H., Swetnam, T. W., & Turner, M. G. (2013). Managing forests and fire in changing climates. *Science*, 342, 41–42.  
<https://doi.org/10.1126/science.1240294>

Vanegas-Cubillos, M., Sylvester, J., Villarino, E., Pérez-Marulanda, L., Ganzenmüller, R., Löhr, K., Bonatti, M., & Castro-Nunez, A. (2022). Forest cover changes and public policy: A literature review for post-conflict Colombia. *Land Use Policy*, 114(January).  
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.105981>

# Procrastinación académica y comportamiento de gestión del tiempo en estudiantes universitarios: un estudio piloto

María Luisa Avalos Latorre<sup>1(\*)</sup>, José Carlos Ramírez Cruz<sup>1</sup>, Jesús Alonso Panduro Solórzano<sup>1</sup>, Kevin Diego Dimas Romero<sup>1</sup>, Donovan Israel Salas Padilla<sup>1</sup>  
*1 UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA*

**Resumen:** La procrastinación se define como la tendencia a posponer o retrasar de manera voluntaria una labor evitando las responsabilidades, decisiones y tareas que requieren ser desarrolladas, resultando en un estado de insatisfacción o malestar. Esta postergación de actividades puede exacerbarse cuando no se desarrollan habilidades adecuadas de gestión del tiempo, siendo este un proceso enfocado al establecimiento y logro de metas académicas considerando el tiempo disponible. Por ello el objetivo de la presente investigación fue diseñar y pilotear una intervención educativa breve sobre la procrastinación académica y la gestión del tiempo dirigida a estudiantes universitarios. Participaron voluntariamente 25 estudiantes de la carrera de médico, cirujano y partero de primer semestre, 40% hombres y 60% mujeres, con edad promedio de 19.44 años quienes pertenecían al mismo grupo y grado. Cada uno de ellos respondió el Cuestionario de Comportamiento de Gestión del Tiempo y la Escala de Procrastinación Académica, además, participaron en una intervención educativa breve diseñada para que los estudiantes identificaran conductas de procrastinación y distintas herramientas para organización de tiempo. Los resultados indicaron que la intervención realizada tuvo una mayor influencia en las habilidades de gestión del tiempo que en la procrastinación, siendo mayormente beneficiados aquellos alumnos que trabajaban, así como las mujeres, quienes también mostraron habilidades de planeación y organización distintas a las de los hombres. Se concluye que, contar con conductas de gestión del tiempo adecuadas, no necesariamente impacta en la reducción de la procrastinación ya que posiblemente existen factores motivacionales intrínsecos y extrínsecos del ámbito escolar involucradas.

**Palabras clave:** procrastinación académica, gestión del tiempo, estudiantes universitarios.

Recibido: 17 de mayo de 2024. Aceptado: 30 de agosto de 2024

Received: May 17th, 2024. Accepted: August 30th, 2024

## Academic procrastination and time management behavior in college students: A pilot study

**Abstract:** Procrastination is defined as the tendency to voluntarily postpone or delay a task, avoiding responsibilities, decisions and tasks that need to be carried out, resulting in a state of dissatisfaction or discomfort. This postponement of activities can be exacerbated when adequate time management skills are not developed, this being a process focused on the establishment and achievement of academic goals considering the time available. Therefore, the objective of this research was to design and pilot a brief educational intervention on academic procrastination and time management aimed at university students. 25 first-semester medical, surgeon and midwife students participated voluntarily, 40% men and 60% women, with an average age of 19.44 years. 44% of the participants, in addition to studying, had a paid job. We used the Time Management Behavior Questionnaire and the Academic Procrastination Scale, additionally, he participated in a brief educational intervention designed for students to identify procrastination behaviors and different tools for organizing time. The results indicated that the intervention carried out had a greater effect on the students' time management than on procrastination, with those students who worked and women who showed planning and organization skills different from those of men being the beneficiaries. It is concluded that having adequate time management behaviors does not necessarily impact the reduction of procrastination since there may be intrinsic and extrinsic motivational factors from the school environment involved.

**Key words:** academic procrastination, time management, university students.

## 1. INTRODUCCIÓN

La procrastinación y la gestión del tiempo son fenómenos que han generado un creciente interés en su investigación en las últimas décadas, siendo estos un pilar fundamental para la organización de la vida diaria de las personas, ya que ambos conceptos pueden estar relacionados con la productividad, la toma de decisiones y la calidad de vida en general de cada persona. Estudios como el de Harriott & Ferrari llevado a cabo en 1996, ya revelaba que la procrastinación era un fenómeno de alcance global y mucho más común de lo que se podría suponer; con una prevalencia mayor al 50% en la población en general y entre el 15% y 20% en la población adulta. En estudios recientes, llevados a cabo en estudiantes de secundaria se estima una prevalencia desde el 80% hasta el 95% (Abbasi & Alghamdi, 2015), y es un fenómeno corriente en el 70% de los estudiantes universitarios, atribuido a diferentes causas como el miedo al fracaso o por sentir aversión hacia determinadas tareas asignadas, además de la mala gestión del tiempo, falta de motivación o de habilidades organizativas, incapacidad de concentrarse, miedo y ansiedad al fracaso, duda sobre sus capacidades, problemas personales y el perfeccionismo (Altamirano & Rodríguez, 2021; Garzón & Gil, 2017).

En este sentido, los estudiantes universitarios pueden no contar con habilidades para aprovechar su tiempo y recurrir a actividades para postergar sus obligaciones escolares, lo que a su vez puede generarles ansiedad, estrés y con esto, un bajo rendimiento académico (Altamirano & Rodríguez, 2021). Existen estudios que abordan el fenómeno de la procrastinación en combinación con otras variables con el objetivo de investigar su impacto en el rendimiento académico (Carranza & Ramírez, 2013; Estremadoiro & Schulmeyer, 2021; Rodríguez & Clariana, 2017; Sichan, 2017; Steel & Ferrari, 2013; entre otros). A pesar de ello, se han llevado a cabo escasas intervenciones que evalúen de manera sistemática el efecto de estrategias destinadas a mejorar el desempeño estudiantil y reducir la procrastinación académica. Por lo tanto, esta investigación adquiere una relevancia significativa al proporcionar información que contribuye a comprender el impacto de las intervenciones basadas en el control de estímulos y la gestión del tiempo en relación con la procrastinación académica.

Hasta el momento, se han llevado a cabo intervenciones con enfoques distintos, algunas han utilizado dispositivos electrónicos (Zhou & Wang, 2013) otras se han enfocado en la modificación de pensamientos y conductas (López et al., 2020) y otras han implementado reuniones para informar sobre técnicas para el manejo adecuado del estrés, así como temas de organización de sus actividades (Furlan, 2012). Sin embargo, todas ellas han demostrado resultados favorables, lo que amplía las opciones de intervención que podrían utilizarse en el ámbito educativo con el objetivo de reducir y prevenir

esta problemática en el estudio, en este orden de ideas, van Eerde & Klingsieck (2018), a través de un meta-análisis de estudios de intervención para procrastinación, concluyen que cualquier tipo de intervención reduce fuertemente la procrastinación siendo las aproximaciones cognitivo conductuales las que muestran mayor eficacia. Por tanto, resulta crucial desarrollar intervenciones enfocadas en fortalecer habilidades para la adecuada gestión del tiempo que repercutirán en el desempeño académico.

## 2. MARCO TEÓRICO

La procrastinación se define como la tendencia a posponer o retrasar de manera voluntaria la finalización de una labor evitando las responsabilidades, decisiones y tareas que requieren ser desarrolladas, resultando en un estado de insatisfacción o malestar (Álvarez, 2010). Desde esta perspectiva la procrastinación sería atenuada con la organización, la capacidad de establecer metas y estructurar las propias tareas, la motivación hacia el rendimiento y finalmente la organización o gestión del tiempo (Garzón & Gil, 2017). La gestión del tiempo se entiende como un proceso dirigido al establecimiento y logro de metas académicas definidas considerando el tiempo disponible y la verificación de sus usos, donde para tener una correcta organización se deben tomar en cuenta diferentes factores como lo culturales, de estructura y dinámica organizacional, de comunicación, de tarea, centrados en equipos humanos y de educación de la organización en su entorno, entre los beneficios que se obtendrán por organizar nuestro tiempo se encuentran la reducción de la procrastinación, tener más control, menos estrés, completar más tareas y disfrutar del tiempo libre (Roblero, 2020).

Existen dos tipos de procrastinación, la procrastinación general entendida como el hecho de posponer una tarea de poco interés que genera malestar subjetivo y la procrastinación académica, en la que se centra la presente investigación, se entiende como la tendencia de dejar de lado las actividades escolares hasta una futura fecha, implicando un mayor nivel de ansiedad (Atalaya & García, 2019).

Lo procrastinación académica, lleva a los estudiantes a retrasar el estudio para los exámenes y a dedicar menos horas de las necesarias, obteniendo un menor rendimiento académico, es por ello que esta juega un papel importante en la deserción universitaria, la salud física y mental de los estudiantes o el estrés, debido a que llegan a cometer más errores al momento de trabajar, son más lentos al trabajar y omiten puntos de importancia en sus trabajos (Jones & Blankenship, 2021; Korstange et al., 2019; Mastrantonio et al., 2023). Steel y Ferrari (2013), refieren que los predictores para la procrastinación se encuentra el sexo en el que los hombres procrastinan más que las mujeres, la edad, el estado civil, el

grado de estudios y la nacionalidad. La procrastinación académica debe ser contrarrestada con la autorregulación académica, siendo un elemento clave en el éxito académico que permite al estudiante ser capaz de regular eficientemente su proceso de aprendizaje mediante la fijación de metas y la planificación del tiempo, esto partiendo del autoconocimiento de las capacidades propias (Altamirano & Rodríguez, 2021).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar un estudio en fase piloto de intervención educativa de sesión única sobre la procrastinación académica y la gestión del tiempo dirigida a estudiantes universitarios.

### 3. METODOLOGÍA

#### Participantes

Participaron de forma voluntaria 25 estudiantes de la carrera de médico, cirujano y partero de primer semestre, 40% hombres y 60% mujeres, con edad promedio de 19.44 años (min = 18, max = 24, D.E.=1.6). El 44% de los participantes además de estudiar tenía un empleo remunerado.

#### Escenario y materiales

El registro de los datos se llevó a cabo en el aula en donde tomaban sus clases, era un espacio con una capacidad aproximada para 30 personas, el espacio contó con mesas y sillas individuales, luz natural, pintarrón, proyector y una mesa con silla para el docente. Se empleó un formulario de Google Forms® para la evaluación de las variables principales del estudio y datos sociodemográficos. Para la intervención se empleó un cañón, computadora, presentación en PowerPoint y formatos impresos del diagrama de Gantt (Terrazas, 2011).

#### Instrumentos

Se utilizó el Cuestionario de Comportamiento de Gestión del Tiempo (Macan et al., 1990), el cual tiene como objetivo identificar la forma en que los estudiantes gestionan su tiempo de aprendizaje y estudio. Es un instrumento autoadministrado que consta de 34 reactivos que indican el grado en que los estudiantes describen su forma habitual de gestionar el tiempo, tiene una escala de respuesta tipo Likert de 5 puntos, donde uno corresponde a "nunca" y cinco a "siempre". Tiene un Alfa de Cronbach de 0.71. El cuestionario evalúa cuatro dimensiones:

- Postergación de actividades: Esta escala evalúa la disposición del alumno para destinar tiempo y momentos para organizar y realizar sus tareas. Se compone de 5 reactivos y cuenta con puntajes de respuesta entre 5 y 25.
- Establecimiento de objetivos y prioridades: esta escala evalúa la disposición del alumno para seleccionar y priorizar tareas académicas con el fin de alcanzar sus objetivos. Se compone de 10 reactivos y cuenta con puntajes de respuesta entre 10 y 50.
- Herramientas de gestión del tiempo: esta escala evalúa el uso de técnicas asociadas a la gestión eficaz del tiempo, como el uso de la agenda, la elaboración de listas de actividades por hacer o la comprobación de las tareas ya

realizadas. Consta de 11 reactivos y cuenta con puntajes de respuesta entre 11 y 55.

- Preferencias por la desorganización: esta escala evalúa la forma de organizar las tareas y el grado en que mantienen un ambiente de estudio estructurado. Puntuaciones altas en el factor indican el desarrollo de actividades sin planificación y estructuración previa, así como el mantenimiento de un ambiente de estudio desorganizado. Se compone de 8 reactivos y cuenta con puntajes de respuesta entre 8 y 40.

Para medir la inclinación de los estudiantes a diferir o aplazar la finalización de sus responsabilidades académicas se aplicó la Escala de Procrastinación Académica ([EPA], adaptada por Álvarez, 2010), está compuesta por 16 reactivos con cinco opciones de respuesta que van de nunca a siempre, en donde uno representa "nunca" y cinco representa "siempre". Tiene un Alfa de Cronbach de 0.79. El cuestionario evalúa dos dimensiones:

- Tendencia a posponer actividades: Hace referencia en la demora en elaborar o entregar tareas consideradas aburridas, difíciles o que no son del agrado del estudiante.
- Capacidad de autorregulación académica: Hace referencia a la concentración y el enfoque para llevar a cabo las actividades académicas.

#### Diseño

Diseño cuantitativo, transversal, cuasi-experimental sin grupo de control, con pretest-intervención-postest. La primera fase fue de pretest, tuvo como objetivo identificar los comportamientos de gestión del tiempo y la predisposición a procrastinar las actividades académicas. La segunda fase de intervención tuvo por objetivo facilitar la identificación de conductas de procrastinación y proporcionar herramientas para la organización de tiempo y actividades. Finalmente, la tercera fase de postest tuvo por objetivo identificar los comportamientos de gestión del tiempo y la predisposición a procrastinar las actividades académicas una vez que recibieron la sesión educativa.

#### Procedimiento

Inicialmente, se acudió al aula donde los estudiantes tomaban sus clases regularmente y, durante el horario de tutoría académica grupal, se les invitó a participar en el estudio toda vez que se les explicó en qué consistiría la actividad. Una vez que aceptaron, se les pidió que a través de su celular, accedieran a los cuestionarios (Cuestionario de Comportamiento de Gestión del Tiempo y Escala de Procrastinación Académica [EPA]) a través de un QR, una vez que ingresaron, se les requirió que leyeran lo correspondiente al consentimiento informado y de estar de acuerdo, presionaran el recuadro "aceptar" para enseguida pasar a las instrucciones del Cuestionario de Comportamiento de Gestión del Tiempo (Macan et al., 1990), se les indicó responder de la manera más honesta posible cada uno de los reactivos, una vez concluido el primer cuestionario, el formulario los pasó a las instrucciones de la Escala de Procrastinación Académica

([EPA], adaptada por Álvarez, 2010) y a cada uno de los reactivos. Durante el llenado del formulario, los aplicadores estuvieron al pendiente de cualquier pregunta que los participantes expresaran, cuidando siempre de no inducir a cierta opción de respuesta. Una vez que todo el grupo concluyó ambos cuestionarios, procedimos a realizar la fase de intervención.

La fase de intervención consistió en una sesión educativa de dos horas en la que se empleó una presentación en PowerPoint con la cual se explicó la procrastinación, las estrategias para evitar la procrastinación, el reconocimiento de actividades urgentes e importantes, la optimización de los tiempos muertos y las herramientas para la gestión de tareas en este último tema, se les ofrecieron diferentes ejemplos como el uso de agenda, de notas, de aplicaciones en los dispositivos, de recordatorios y el Diagrama de Gantt (Terrazas, 2011). Una vez concluida la explicación, se les preguntó sobre aquellos quienes emplean alguna estrategia o herramienta para organizar su tiempo y actividades, asimismo con un ejemplo se explicó con mayor detalle el Diagrama de Gantt y se les mostró un ejemplo para posteriormente entregarles un formato y solicitarles que lo implementaran durante una semana. Finalmente, se resolvieron las preguntas y se les recordó sobre la segunda visita la semana siguiente.

Una semana después, el investigador responsable acudió nuevamente al aula para preguntarles acerca de su experiencia con el Diagrama de Gantt y con la información que se les había proporcionado, en un tiempo no mayor a 30 minutos se realizó una breve retroalimentación, también se les solicitó entregaran sus diagramas y nuevamente se les facilitó el QR para que respondieran los cuestionarios ya referidos anteriormente. Una vez que todo el grupo respondió, se les agradeció su participación.

**Tabla 1**

*Puntaje promedio general, mínimo, máximo y desviación estándar del Cuestionario de Comportamientos de Gestión del Tiempo en las fases de evaluación.*

Dimensión	Preevaluación	Postevaluación
Postergación de actividades	13.5 (min = 9, max = 21, D.E. = 2.9)	15.1 (min = 7, max = 22, D.E. = 3.1)
Establecimiento de objetivos y prioridades	35.3 (min = 17, max = 48, D.E. = 6.8)	37.6 (min = 17, max = 50, D.E. = 9.8)
Herramientas de gestión del tiempo	32.8 (min = 16, max = 50, D.E. = 8.6)	37.3 (min = 17, max = 55, D.E. = 9.9)
Preferencias para la desorganización	18.4 (min = 13, max = 36, D.E. = 4.7)	23.3 (min = 13, max = 31, D.E. = 4.9)
Global	96.8 (min = 66, max = 129, D.E. = 16.2)	113.4 (min = 62, max = 143, D.E. = 20.3)

**Tabla 2**

*Puntaje promedio general, mínimo, máximo y desviación estándar de la Escala de Procrastinación Académica en las fases de evaluación.*

Dimensión	Preevaluación	Postevaluación
Tendencia a posponer actividades	45.2 (min = 36, max = 56, D.E. = 5.2)	47.4 (min = 37, max = 58, D.E. = 5.8)
Capacidad de autorregulación académica	7.4 (min=3, max=13, D.E.=2.2)	8.5 (min = 11, max = 14, D.E. = 2.8)
Global	52.6 (min=43, max=61, D.E.=5.2)	57.3 (min = 44, max = 70, D.E. = 6.6)

## Análisis de datos

Los datos se capturaron y analizaron en el programa SPSS® versión 25.0 para Windows. Para la descripción de las variables se utilizaron medias de tendencia central como: frecuencias, porcentajes, desviación estándar, medias, mínimos y máximos. Para determinar la distribución normal de la muestra realizamos la prueba de Shapiro Wilk y una vez comprobada la normalidad de los datos, se utilizó la prueba de comparación *t* para muestras independientes y prueba ANOVA de un factor para determinar el efecto de la intervención.

## Consideraciones éticas

Esta investigación se acuña a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SSA3-2012 (Secretaría de la Gobernación, 2012) y el Código Ético del Psicólogo Mexicano (Sociedad Mexicana de Psicología, 2010). Por lo anterior, a cada participante autorizó su participación voluntaria, informada, confidencial y anónima.

## 4. RESULTADOS Y/O DISCUSIÓN

En la tabla 1 y tabla 2 se describen los puntajes promedios obtenidos en el Cuestionario de Comportamiento de Gestión del Tiempo (Macan et al., 1990) y en la Escala de Procrastinación Académica ([EPA], adaptada por Álvarez, 2010) tanto de manera global como de cada una de sus dimensiones académica respectivamente. Tal como se puede observar, en todos los casos se presenta un incremento en el puntaje promedio en la fase de post-evaluación con respecto a la fase de pre-evaluación.

Al comparar los puntajes de la preevaluación y la postevaluación correspondiente a los comportamientos de gestión del tiempo se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $F = 6.1, p = 0.04$ ), no así al comparar los puntajes de la preevaluación y postevaluación de procrastinación académica ( $F = 2.4, p = 0.09$ ). Aunado a lo anterior, se compararon los puntajes de cada fase de evaluación de acuerdo con las dimensiones de gestión del

**Tabla 3**

*Comparación de la pre-evaluación y post-evaluación de las dimensiones de gestión del tiempo y procrastinación académica*

Variables	Dimensión	Comparación entre pre y post (ANOVA)
Gestión del tiempo	Postergación de actividades	( $F = 3.01, p = 0.029$ )
	Establecimiento de objetivos y prioridades	( $F = 4.4, p = 0.026$ )
	Herramientas de gestión del tiempo	( $F = 2.03, p = 0.16$ )
	Preferencias para la desorganización	( $F = 2.1, p = 0.13$ )
Procrastinación	Tendencia a posponer actividades	( $F = 1.1, p = 0.45$ )
	Capacidad de autorregulación académica	( $F = 11.4, p = 0.00$ )

Además, se tomaron en cuenta tres variables sociodemográficas (sexo, edad y actividad laboral) con el objetivo de determinar si ellas influían tanto en la gestión del tiempo como en la procrastinación académica una vez que los estudiantes se expusieron a una intervención educativa breve, y se observaron diferencias estadísticamente significativas en la gestión del tiempo de los estudiantes varones ( $F = 480.2, p$

**Tabla 4**

*Comparación de gestión del tiempo y procrastinación académica de acuerdo al sexo, edad y actividad laboral*

Variables dependientes	Variables independientes	Categorías	Comparaciones
Gestión del tiempo	Sexo	Hombre	( $F = 480.2, p = 0.03$ )
		Mujer	( $F = .09, p = 0.67$ )
	Edad	Postevaluación	( $F = 3.4, p = .021$ )
		Actividad laboral	Sí
		No	( $F = 21.3, p = 0.17$ )
Procrastinación	Sexo	Hombre	( $F = 1.1, p = 0.49$ )
		Mujer	( $F = 1.8, p = 0.34$ )
	Edad	Postevaluación	( $F = 1.6, p = 0.19$ )
		Actividad laboral	Sí
		No	( $F = 2.5, p = 0.31$ )

Las diferencias estadísticamente significativas encontradas entre la pre-evaluación y post-evaluación en cada una de las dimensiones correspondientes a la gestión del tiempo de acuerdo con las variables sociodemográficas de sexo, edad y actividad laboral fueron respecto al grupo de mujeres y la dimensión “preferencias para la desorganización” ( $F = 3.8, p = 0.03$ ) y la edad y la dimensión “postergación de actividades” ( $F = 4.4, p = 0.00$ ). Finalmente, las diferencias estadísticamente significativas encontradas entre la preevaluación y postevaluación en cada una de las dimensiones correspondientes a la procrastinación académica de acuerdo a las variables sociodemográficas de sexo, edad y actividad laboral fueron entre el grupo de mujeres y la dimensión “capacidad de autorregulación académica” ( $F = 11.2, p = 0.00$ ) y el grupo con trabajo remunerado y la dimensión “capacidad para la regulación académica” ( $F =$

tiempo y procrastinación académica, se observaron diferencias estadísticamente significativas en las dimensiones “postergación de actividades” y “establecimiento de objetivos” correspondientes a los comportamientos de gestión del tiempo y en la dimensión “capacidad de autorregulación académica” correspondiente a la procrastinación académica (Ver tabla 3).

$= 0.03$ ), la gestión del tiempo y la edad ( $F = 3.4, p = .021$ ) y la gestión del tiempo de los estudiantes que tenían un empleo remunerado ( $F = 628.9, p = 0.03$ ). Con respecto a la procrastinación académica no se observaron diferencias estadísticamente significativas con las dichas variables sociodemográficas (Ver tabla 4).

18.4,  $p = 0.00$ ) así como el grupo que sin trabajo remunerado y la dimensión “capacidad para la regulación académica” ( $F = 5.8, p = 0.03$ ).

## 5. CONCLUSIONES

- La intervención realizada en los estudiantes universitarios tuvo efecto en la gestión del tiempo, pero no en la procrastinación, parece ser que la correcta organización del tiempo para las actividades no es únicamente lo que influye para poder vencer a la procrastinación, sino que hay otras variables que participan en el hábito de procrastinar, como la motivación hacia la materia y el tipo de actividades que



son desarrolladas por los docentes, siendo poco atractivas para los estudiantes, teniendo como resultado postergar las actividades hasta el último minuto. Steel (2007), afirma que la procrastinación académica tiene factores motivacionales tales como la expectativa, la valoración, la impulsividad y la demora de la satisfacción.

- Una vez desarrollada la intervención, observamos una mejora en ambos aspectos, siendo de mayor el efecto en la gestión del tiempo, por lo que se sugiere realizar más proyectos de intervención que incluya más grupos e incluir grupos control para garantizar su éxito. Van Eerde & Klingsieck (2018), afirman que a través de intervenciones educativas, se puede lograr una reducción sustancial de la procrastinación, aunque hoy en día el número de estudios es limitado y se hace necesario profundizar en propuestas al respecto.
- Las mujeres y los participantes que trabajan fueron los más beneficiados con la intervención centrada en estrategias de organización y en la concientización de las conductas de postergación de actividades. Además, la forma de planear y organizar las actividades escolares es diferente de acuerdo con el sexo, siendo mayor la planeación en las mujeres. Díaz (2019), a través de su revisión sistemática, confirma que el género se ha tomado en cuenta para estudiar la procrastinación y propone fortalecer las investigaciones que indaguen sobre las tareas diarias o cotidianas de hombres y mujeres. Asimismo, encuentran que al analizar la procrastinación de acuerdo a la categoría profesional se observan diferencias de acuerdo a su cualificación laboral.

## REFERENCIAS

Abbasi, I., & Alghamdi, N. (2015). The prevalence, causes, treatments, and implications of procrastination behavior in general, academic, and work setting. *International Journal of Psychological Studies*, 7(1), 59-66. <https://doi.org/10.5539/ijps.v7n1p59>.

Altamirano, C., & Rodríguez, M. (2021). Procrastinación académica y su relación con la ansiedad. *Revista Eugenio Espejo*, 15(3), 16-28. <https://doi.org/10.37135/ee.04.12.03>.

Álvarez, O. (2010). Procrastinación general y académica en una muestra de estudiantes de secundaria de Lima metropolitana. *Persona: Revista de la Facultad de Psicología*, 13, 159-177. <https://www.redalyc.org/pdf/1471/147118212009.pdf>.

Atalaya, C., & García, L. (2019). Procrastinación: Revisión teórica. *Revista de Investigación en Psicología*, 22(2), 363-378. <http://dx.doi.org/10.15381/rinvp.v22i2.17435>.

Carranza, R., & Ramírez, A. (2013). Procrastinación y características demográficas asociados en estudiantes universitarios. *Apuntes Universitarios, Revista de Investigación*, 3(2), 95-108. <https://www.redalyc.org/pdf/4676/467646127006.pdf>.

Díaz, M. (2019). Procrastinación: una revisión de su medida y sus correlatos. *Revista Iberoamericana de Diagnóstico y Evaluación*, 2(51). <https://www.redalyc.org/journal/4596/459661106005/html/>.

Estremadoiro, P., & Schultmeyer, M. (2021). Procrastinación académica en estudiantes universitarios. *Revista Aportes de la Comunicación y la Cultura*, 30, 51-61. [http://www.scielo.org.bo/pdf/racc/n30/n30\\_a04.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/racc/n30/n30_a04.pdf).

Furlan, L. (2012). Eficacia de una Intervención para Disminuir la ansiedad frente a los exámenes en estudiantes universitarios argentinos. *Revista Colombiana de Psicología*, 22(1), 75-89. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=80428081006>.

Garzón, A., & Gil, J. (2017). Gestión del tiempo y procrastinación en la educación superior. *Universitas Psychologica*, 16(3), 1-13. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.upsy16-3.gtpe>.

Harriott, J., & Ferrari, J. (1996). Prevalence of procrastination among samples of adults. *Psychological Reports*, 78, 611-616. <http://dx.doi.org/10.2466/pr0.1996.78.2.611>.

Jones, I., & Blankenship, D. (2021). Year two: effect of procrastination on academic performance of undergraduate online students. *Research in Higher Education Journal*, 39, 1-12. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1293903>.

Korstange, R., Craig, M., & Duncan, M. (2019). Understanding and addressing students' procrastination in college. *The Learning Assistance Review*, 24(1). <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1234437.pdf>.

López, A., Pérez, L., Gutiérrez, G., Pompa, M., & Fernández, M. (2020). Reducción de la procrastinación académica mediante la Terapia de Aceptación y Compromiso: un estudio piloto. *Clínica Contemporánea*, 11(1). <https://doi.org/10.5093/cc2020a3>.

Macan, T., Shahani, C., Dipboye, R., & Phillips, A. (1990). College students' time management: Correlations with academic performance and stress. *Journal of Educational Psychology*, 82(4), 760-768. <http://dx.doi.org/10.1037//0022-0663.82.4.760>.

Mastrantonio, M., Pestana, J., & Codina, N. (2013). Predicting procrastination with academic performance: towards the anticipation of a higher education problem. *Intangible Capital*, 19(2), 316-327. <https://doi.org/10.3926/ic.2011>.

Roblero, G. (2020). Validación de cuestionario sobre gestión del tiempo en universitarios mexicanos. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 22, 1-11. <https://doi.org/10.24320/redie.2020.22.e01.2136>.

Rodríguez, A., & Clariana, M. (2017). Procrastinación en estudiantes universitarios: su relación con la edad y el curso académico. *Revista Colombiana de Psicología*, 21(1), 45-60. doi: 10.15446/rcp.v26n1.53572.

Secretaría de Gobernación. (2013). Norma Oficial Mexicana Nom-012-Ssa3-2012, Que establece los criterios para la ejecución de proyectos de investigación para la salud en seres humanos.

[https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5284148&fecha=04/01/2013#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5284148&fecha=04/01/2013#gsc.tab=0).

Sichan, H. (2017). A multivariate investigation into academic procrastination of university students. *Open Journal of Social Sciences*, 5(10), 12-24. Doi: 10.4236/jss.2017.510002.

Sociedad Mexicana de Psicología. (2010). Código Ético del Psicólogo. Trillas.

Steel, P. (2007). The nature of procrastination: a meta-analytic and theoretical review of quintessential self-regulatory failure. *Psychological Bulletin*, 133(1), 65-94. <https://psycnet.apa.org/doiLanding?doi=10.1037%2F0033-2909.133.1.65>.

Steel, P., & Ferrari, J. (2013). Sex, education and procrastination: An epidemiological study of procrastinators' characteristics from a global sample. *European Journal of Personality*, 27(1), 51-58. <http://dx.doi.org/10.1002/per.1851>.

Terrazas, R. (2011). Planificación y programación de operaciones. *Perspectivas*, 28, 7-32. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=425941257002>.

van Eerde, W., & Klingsieck, K. (2018). Overcoming procrastination? A meta-analysis of intervention studies. *Educational Research Review*, 25, 73-85. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2018.09.002>.

Zhou, Y., & Wang, J. (2023). Internet-based self-help intervention for procrastination: randomized control group trial protocol. *Trials*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s13063-023-07112-7>.

# Análisis Espacial como Instrumento para la Definición Física de Nodos Subregionales de la Institución Universitaria Digital de Antioquia

José Andrés Posada Marín<sup>1(\*)</sup>, Juan Carlos Torres<sup>1</sup>, Esteban Zapata<sup>1</sup>

*1 Grupo de Investigación en Innovación Digital y Desarrollo Social INDDDES, IU Digital de Antioquia, Medellín, Colombia*

**Resumen:** La ubicación espacial de sedes físicas educativas es un aspecto clave para garantizar el impacto y cobertura de la educación. Esta debe ser hecha teniendo en cuenta diferentes aspectos sociales, económicos y físicos. Este estudio aborda el análisis espacial como insumo para la definición de sedes físicas en los nodos subregionales de la Institución Universitaria Digital de Antioquia. Para esto, se integró la demanda educativa potencial y actual, representadas por la distribución espacial de estudiantes de grado 11 y los matriculados en dicha institución, con la conectividad y accesibilidad vial de los municipios. El Oriente Antioqueño destaca como la subregión con la mayor demanda educativa (exceptuando el Valle de Aburrá), liderada por Rionegro en la demanda actual, siendo este el municipio que presenta la mayor demanda potencial en el departamento. Además, la conectividad vial evidenció a San Jerónimo y Cisneros como municipios de alta conectividad. Por otro lado, la accesibilidad vial resalta a Nechí y Guarne en sus respectivas subregiones. El índice de interacción espacial revela la importancia estratégica de Rionegro, Apartadó y El Bagre para la consolidación de sedes físicas en sus subregiones asociadas. Se concluye que este enfoque integral proporciona una base importante para la toma de decisiones, aunque se sugiere considerar factores adicionales como voluntad política y necesidades básicas insatisfechas en futuras iniciativas. La Institución Universitaria Digital de Antioquia puede utilizar estos resultados como insumos clave en su estrategia de establecimiento de sedes físicas, buscando garantizar un acceso equitativo y eficiente a la educación superior en la región.

**Palabras clave:** Accesibilidad vial, Conectividad vial, Análisis de redes, Demanda educativa.

Recibido: 17 de mayo de 2024. Aceptado: 31 de agosto de 2024

Received: May 17th, 2024. Accepted: August 31st, 2024

## Spatial Analysis as Instrument for the Definition of Physical Sites in the Subregional Nodes of the Digital University Institution of Antioquia

**Abstract:** The spatial location of physical educational sites is a key aspect to ensure the impact and coverage of education. This must be done taking into account different social, economic, and physical aspects. This study addresses spatial analysis as input for the definition of physical locations in the subregional nodes of the Institución Universitaria de Antioquia. To achieve this, the potential and current educational demand, represented by the spatial distribution of 11th-grade students and enrollees in such institution, were integrated with the connectivity and road accessibility of the municipalities. The Oriente Antioqueño stands out as the subregion with the highest educational demand, led by Rionegro in the current demand, which is the municipality with the highest potential demand in the department (except for the Valle de Aburrá). Additionally, road connectivity identified San Jerónimo and Cisneros as municipalities with high connectivity. On the other hand, road accessibility highlights Nechí and Guarne in their respective subregions. The spatial interaction index reveals the strategic importance of Rionegro, Apartadó, and El Bagre for the consolidation of physical locations in their associated subregions. It is concluded that this comprehensive approach provides an important background for decision-making, although it is suggested to consider additional factors such as political will and unmet basic needs in future initiatives. The Institución Universitaria de Antioquia can use these results as key inputs in its strategy for establishing physical locations, seeking to ensure equitable and efficient access to higher education in the region.

**Keywords:** Road accessibility, Road connectivity, Network analysis, Educational demand.

## 1. INTRODUCCIÓN

El análisis espacial es un insumo clave para la definición de sedes físicas de equipamientos de servicios (Garnica-Berrocal, 2012; Prieto-Lizarazo y Pinzón-Restrepo, 2016; Ríos-Durango, 2020). Particularmente, este ha sido empleado para la consolidación de nuevos espacios educativos (Prieto-Lizarazo y Pinzón-Restrepo, 2016; López-Pachon, 2019; Fuentes-Álvarez, 2020), buscando garantizar el acceso a la educación desde un enfoque socio-espacial equitativo. Por lo que la ubicación de estos equipamientos, principalmente ha sido determinada por la demanda, entendida como la población en edad para estudiar (Garnica-Berrocal, 2012). Sin embargo, este enfoque puede generar desbalances, ya que dejaría por fuera del acceso a la educación a las comunidades retiradas de las zonas más pobladas. Estas comunidades podrían realizar desplazamientos para acceder a dicho servicio y por lo tanto, el análisis espacial para el establecimiento de estas sedes, debería contemplar variables como la accesibilidad y conectividad vial.

La distribución espacial de estudiantes, la conectividad y la accesibilidad vial son aspectos que desempeñan un papel fundamental en la planificación educativa y el desarrollo socioeconómico de los municipios (Banerjee et al., 2020; Waddell, 2002). Este último factor, puede estar influenciado por diversos fenómenos, como la ubicación de equipamientos educativos, topografía, infraestructura vial, entre otros. La Institución Universitaria Digital de Antioquia (IU Digital) busca ofrecer educación superior de calidad a través de plataformas y recursos digitales, brindando oportunidades de aprendizaje flexibles y accesibles para estudiantes de diversas regiones y perfiles (Manrique-Losada, 2020). La institución tiene el compromiso de fomentar la excelencia académica, la innovación tecnológica y el desarrollo de habilidades relevantes para el mundo laboral, con el fin de formar profesionales competentes y comprometidos con el desarrollo social y económico de la región.

Pese a que esta es una institución de carácter digital, la IU Digital reconoce la importancia de las interrelaciones personales y la vida universitaria en los procesos formativos de la educación superior.

Estos factores no solo tienen un impacto positivo en el aprendizaje y el desarrollo académico, sino que también contribuyen al crecimiento personal, a la generación de comunidad, la formación de redes, a fortalecer el pensamiento crítico y el bienestar estudiantil. Estos son componentes esenciales de la experiencia universitaria y preparan a los estudiantes para enfrentar los desafíos del mundo laboral y social. En búsqueda de mejorar dichos factores, la institución ha promovido la consolidación de nodos subregionales que cuenten con sedes físicas en las que se pueda promover el aprendizaje colaborativo, el desarrollo de habilidades sociales, el networking, el apoyo emocional y social las experiencias extracurriculares y sobre todo la conexión de la universidad como concepto y el modelo de “Digitalidad Próxima” de la IUDigital de Antioquia, que se materializa a través de los nodos en el territorio.

Diferentes estudios han sido realizados con el fin de analizar la ubicación de sedes de equipamientos educativos (p.ej. Garnica-Berrocal, 2012; Rodríguez-Collazos, 2017; Mendoza-Barreto, 2018; Fuentes-Álvarez, 2020; Narváez-Pérez, 2021). Estos estudios tienen en común la necesidad de analizar la ubicación espacial de los equipamientos educativos, de manera que sea atendida la demanda de este servicio (Garnica-Berrocal, 2012). Además, señalan la necesidad de incluir variables adicionales como la accesibilidad y conectividad vial para producir análisis más integrales que orienten de manera más adecuada la toma de decisiones respecto a la creación de nuevas sedes físicas. Estos factores son clave para impulsar el desarrollo socioeconómico de los municipios, ya que una educación de calidad y una infraestructura adecuada fomentan el crecimiento económico, la atracción de inversiones y la mejora de la calidad de vida de la comunidad en general (Mulongo, 2013; Popova, 2017).

La definición de la ubicación de las sedes físicas de los nodos de la IU Digital, es un aspecto crítico para garantizar la efectividad de las estrategias que se emprendan en ellos, dado que su alcance no se circunscribe a un solo municipio, si no que como su nombre lo indica debe ser regional. Dicha definición depende de múltiples variables, entre las que se destacan la distribución espacial de los estudiantes,

la conectividad y accesibilidad vial, factores que definen la interacción espacial de los municipios que conforman los nodos. Por esta razón, en este trabajo se realizó el análisis espacial de dichas variables, y se propone un análisis que las integre, buscando ofrecer un insumo complementario a otros análisis que facilite la definición de estas sedes y la operatividad espacial la IU Digital de Antioquia en los nodos subregionales.

## 2. MARCO TEÓRICO

La distribución espacial se refiere a la manera en que los objetos, fenómenos o características se encuentran dispuestos en el espacio geográfico (Aragón-Hernández et al., 2019; Montero y Brito, 2019). Esta permite realizar análisis en diferentes escalas, desde pequeñas áreas locales hasta regiones más amplias. Puede estar influenciada por diversos factores, como la topografía, el clima, la disponibilidad de recursos, las actividades humanas, las políticas y las interacciones sociales (Muñoz et al., 2006; Alarcón-Hincapié et al., 2013; Buzai et al., 2019; Morera-Chacón, 2020). El estudio de la distribución espacial es fundamental en disciplinas como la geografía, la planificación urbana, la ecología, la demografía y muchas otras (Sánchez et al., 2007; Vono y Domingo, 2007; Gaspari et al., 2015). Permite comprender cómo se distribuyen los elementos en el espacio, identificar patrones espaciales, analizar las relaciones entre ellos y detectar posibles tendencias o variaciones geográficas. Al comprender la distribución espacial de los fenómenos, se pueden tomar decisiones informadas en la planificación territorial, el desarrollo urbano, la gestión de recursos, la asignación de servicios y otras áreas, con el objetivo de optimizar el uso del espacio y promover una distribución equitativa y sostenible de los elementos en el territorio (Beltrán et al., 2009; Velasquez-Ovalle, 2019).

Además, el análisis de la distribución espacial de diferentes variables, permite profundizar en el entendimiento de la interacción espacial entre estas, y mejorar la toma de decisiones respecto a la operatividad espacial y la provisión de servicios (p.ej. Longley y Mateos, 2005). Esto ha sido principalmente aplicado en el campo del geomarketing, en el que a partir del análisis de la

distribución espacial de variables claves del mercado, se proponen ubicaciones potenciales para nuevas sedes prestadoras de los servicios (Albornoz del Valle et al., 2020; Zabala, 2020). Su alto impacto en el geomarketing, ha llevado a que la aplicación del análisis espacial se extrapole al contexto social, como es el caso de la ubicación de equipamientos de servicios (Albornoz Del Valle et al., 2020).

La distribución espacial de estudiantes, la conectividad y la accesibilidad vial en los municipios desempeñan un papel fundamental en la planificación educativa y el desarrollo socioeconómico (Mejía, 2007; Lache-González, 2020; Montoya et al., 2020). Analizar estos factores es de suma importancia, ya que permite identificar patrones de ubicación de estudiantes, evaluar la calidad de la infraestructura vial y determinar el grado de conectividad física. Comprender la distribución espacial de estudiantes ayuda a identificar desigualdades educativas y diseñar estrategias para garantizar un acceso equitativo a la educación (Vázquez, 2017). Asimismo, la conectividad y la accesibilidad vial influyen en la calidad de vida de los estudiantes, afectando su acceso a recursos educativos y su capacidad para desplazarse de manera eficiente (Chereque-Lizarzaburu y Delgado-Alva, 2020), pero adicionalmente para que las instituciones puedan desplazarse al entorno cercano. Estos factores son clave para impulsar el desarrollo socioeconómico de los municipios, ya que una educación de calidad y una infraestructura adecuada fomentan el crecimiento económico, la atracción de inversiones y la mejora de la calidad de vida de la comunidad en general (Vicuña et al., 2019; Franco-Naranjo y Muñoz-Arroyave, 2020).

La conectividad y accesibilidad vial son dos aspectos críticos relacionados con la ubicación espacial de dichos equipamientos (Bautista, 2018; Restrepo-Quintero, 2023). La conectividad vial indica la facilidad y eficiencia con la que las personas y mercancías pueden desplazarse utilizando la red de carreteras, calles y caminos existentes (Arias, et al., 2016; Matus et al., 2019). Esta se puede determinar a partir de la presencia de infraestructura vial, como autopistas, carreteras principales, calles secundarias y caminos rurales, así como la disponibilidad de transporte público y las condiciones de tráfico. La conectividad vial juega

un papel crucial en el desarrollo económico y social de una región, ya que una buena red de transporte facilita el movimiento de personas hacia lugares de trabajo, centros educativos, servicios de salud y otros puntos claves. Además, una adecuada conectividad vial favorece el transporte de bienes y servicios, impulsando el comercio local y regional. En este análisis, la conectividad es calculada a partir del número de vías de acceso a cada municipio (Ecuación 1).

$$\text{Conectividad} = \sum \text{Vías de acceso} \quad \text{Ecuación 1.}$$

Es importante resaltar que los factores señalados anteriormente no solo dependen de la presencia física de vías, sino también de su calidad, capacidad y diseño. Así, la accesibilidad vial complementa a la conectividad para determinar el grado de interacción espacial entre lugares. La accesibilidad vial se refiere a la facilidad y conveniencia con la que las personas pueden acceder a diferentes lugares y destinos a través de las vías de transporte existentes. Se refiere específicamente a la capacidad de llegar a un lugar determinado utilizando la red de carreteras, calles y caminos de manera eficiente y segura (Saltarín-Molino, 2017). Una infraestructura vial eficiente y bien conectada puede reducir los tiempos de desplazamiento, mejorar la accesibilidad a diferentes áreas y contribuir a la seguridad vial. La accesibilidad vial se evalúa teniendo en cuenta diversos factores, como la distancia, la velocidad y el tiempo de desplazamiento necesario para llegar a un destino específico (Martínez-Bascuñán, 2014). Una buena accesibilidad vial es fundamental para el funcionamiento eficiente de una comunidad, ya que afecta la movilidad de las personas, el acceso a servicios esenciales como trabajo, educación, atención médica, comercio y recreación. Además, la accesibilidad vial influye en la calidad de vida de las personas al reducir los tiempos de viaje, disminuir los costos de transporte y mejorar la conectividad entre diferentes áreas (Jerez-Calero et al., 2018). En este análisis la accesibilidad es determinada a partir de la Ecuación 2:

$$\text{Accesibilidad} = \frac{TR}{TT} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde TT y TR son las sumatorias de los tiempos de viaje teóricos y los tiempos de viaje reales, entre los n municipios que conforman cada nodo y desde los cuales se accede al municipio de interés. El

tiempo de viaje teórico se calcula usando la distancia euclidiana (D) entre los puntos de interés y se asume la velocidad máxima permitida ( $V_{MAX} = 80 \text{ km/h}$ ) (Ecuación 3). Mientras que el tiempo real (Ecuación 4), se calcula mediante las longitudes de la vía (L) y las velocidades máximas permitidas (V) definidas en función de las características de los segmentos (m) de las vías (Tabla 1).

$$TT = \sum_{i=1}^n D_i * V_{MAX i} \quad \text{Ecuación 3.}$$

$$TR = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m L_{ij} * V_{ij} \quad \text{Ecuación 4.}$$

**Tabla 1.** Velocidades máximas permitidas usadas en el cálculo de accesibilidad.

Jerarquía vial	Estado	Velocidad máx. permitida (V)
Primaria	Pavimentada	80 km/h
Secundaria	Pavimentada	60 km/h
	Afirmada	40 km/h

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Conjunto de datos.

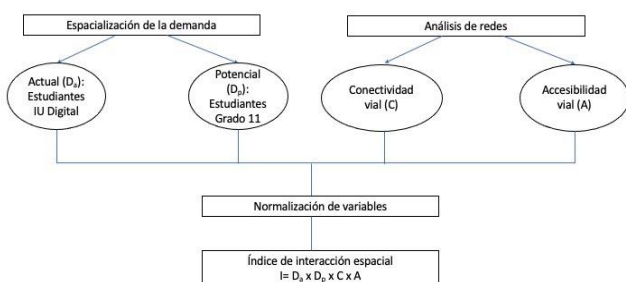
A partir de información suministrada por la dependencia de Admisiones y Registro, se caracterizó la distribución espacial de los estudiantes matriculados de la Institución Universitaria Digital de Antioquia al 2022. La información entregada cuenta con la ubicación municipal de cada estudiante activo de la Institución. Dicha información fue procesada y agrupada por cada municipio de Antioquia, con el fin de caracterizar la demanda actual en cada uno de estos. Además, se usaron los datos por municipio de estudiantes de grado 11 al 2020, obtenidos a partir del portal de Datos Abiertos del Gobierno de Colombia, donde reposan los datos de educación del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (<https://www.datos.gov.co/>).

Para cuantificar la conectividad y accesibilidad vial de los municipios que componen los nodos subregionales, se utilizó el shapefile de vías suministrado por la Gobernación de Antioquia en su portal geoespacial. Este conjunto de datos presenta las principales vías primarias y secundarias del país, permite el cálculo de distancias y muestra

información del tipo de vía (primaria y secundaria) y el estado de estas (pavimentadas o consolidadas).

### 3.1 Análisis de datos

En la Figura 1, se presenta el diagrama de flujo asociado a la metodología empleada en este trabajo. Con el fin de determinar la demanda actual ( $D_a$ ) y potencial ( $D_p$ ) de educación superior por municipio, se espacializaron los datos de estudiantes matriculados en la Institución y los estudiantes de grado 11, respectivamente. Para la estimación de la conectividad ( $C$ ) y accesibilidad ( $A$ ) vial, se usó la herramienta de análisis de redes del sistema de información geográfica ArcGIS. El primer paso de este análisis, consiste en la creación de un conjunto de datos de redes, en el que se ajusta el shapefile de vías y se corrigen errores topológicos. Luego de esto, se procede a estimar la conectividad vial, intersecando los cascos urbanos de los municipios y las vías, para establecer la cantidad de vías de acceso al municipio (Ecuación 1). Luego, se construyó la matriz de origen y destino, que permite establecer los tiempos reales y teóricos, insumos para el cálculo de la accesibilidad (Ecuación 2). Para cada subregión, los resultados de las variables son agrupados y normalizados, con el fin de establecer categorías cualitativas en las variables. Finalmente, se procede a calcular el índice de interacción espacial para cada municipio, dado por el producto de las cuatro variables normalizadas (Figura 1). Este procedimiento fue empleado para cada subregión, excepto para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, en la cual ya está consolidada la sede física de la Institución.

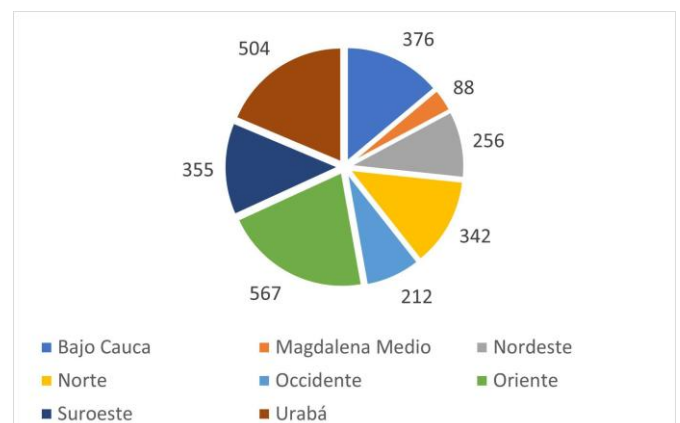


**Figura 1.** Diagrama de flujo asociado a la metodología empleada en este trabajo.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Demanda actual y potencial de educación.

En la Figura 2, se presenta la distribución por subregiones de estudiantes matriculados en la IU Digital de Antioquia, la cual cuenta con aproximadamente 2.700 estudiantes matriculados en Antioquia (exceptuando al Valle de Aburrá). La subregión con mayor número de estudiantes matriculados es el Oriente Antioqueño (567), seguido por Urabá (504) y Bajo Cauca (376). Mientras que la subregión con menos estudiantes matriculados es el Magdalena Medio (88). Para el Oriente Antioqueño, los municipios con mayor y menor demanda actual son Rionegro (106) y Argelia (7), respectivamente. En la Tabla 2, se presenta la síntesis de municipios con mayor y menor demanda actual por subregión.



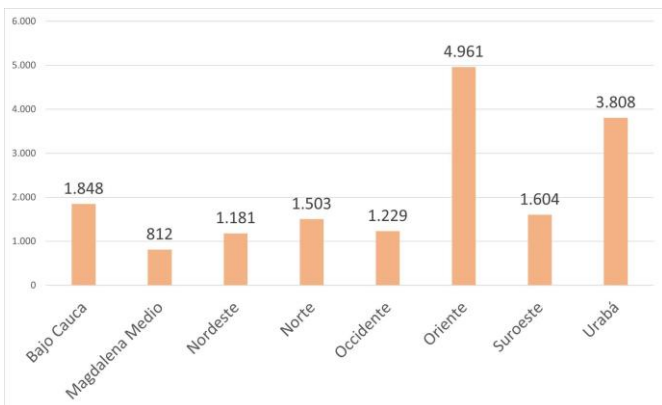
**Figura 2.** Cantidad de estudiantes matriculados en la IU Digital por subregiones de Antioquia.

**Tabla 2.** Demanda actual de educación en las subregiones de Antioquia. Entre paréntesis se indica la cantidad de estudiantes matriculados en la IU Digital.

Subregión	Mayor demanda	Menor demanda
Oriente (567)	Rionegro (106)	Argelia (7)
Urabá (504)	Arboletes (107)	Murindó (1)
Bajo Cauca (376)	Caucasia (146)	Tarazá (16)

Subregión	Mayor demanda	Menor demanda
Suroeste (355)	La Pintada (44)	Pueblo Rico (2)
Norte (342)	Ituango (51)	Angosturas (5)
Nordeste (256)	Amalfi (37)	Yalí (8)
Occidente (212)	Dabeiba y Buriticá (36)	Abriaquí (1)
Magdalena Medio (88)	Puerto Berrío (47)	Yondó (1)

En la Figura 3, se presenta la distribución por subregiones de estudiantes de grado 11 (demanda potencial), con un total de 16.946 estudiantes para todo Antioquia, exceptuando el Valle de Aburrá. La subregión con mayor número de estudiantes de grado 11 es el Oriente Antioqueño (4.961), con la mayor y menor cantidad de estudiantes en los municipios de Rionegro (1.248) y Guatapé (7), respectivamente. A esta subregión la siguen Urabá (3.808) y Bajo Cauca (1.848) en el ranking de la demanda potencial. Mientras que la menor cantidad de estudiantes de grado 11 se encuentra en la subregión del Magdalena Medio con 812 estudiantes. En esta los municipios con mayor y menor demanda potencial son Puerto Berrío (351) y Caracolí (36), respectivamente. En la Tabla 3, se presenta la síntesis de municipios con mayor y menor demanda potencial por subregión.



**Figura 3.** Cantidad de estudiantes de grado 11 por subregiones de Antioquia.

**Tabla 3.** Demanda potencial de educación en las subregiones de Antioquia. Entre paréntesis se indica la cantidad de estudiantes de grado 11.

Subregión	Menor demanda	Mayor demanda
Oriente (4961)	Rionegro (1248)	Guatapé (7)
Urabá (3808)	Apartadó (886)	Murindó (25)
Bajo Cauca (1848)	Caucasia (875)	Zaragoza (70)
Suroeste (1604)	Andes (230)	Hispania y Caramanta (0)
Norte (1503)	Yarumal (367)	Entrerrios, Carolina y Gómez Plata (0)
Occidente (1229)	Santa Fe de Antioquia (299)	Buriticá (7)
Nordeste (1181)	Remedios (279)	Yalí (29)
Magdalena Medio (812)	Puerto Berrío (351)	Caracolí (36)

#### 4.2. Conectividad y accesibilidad vial.

En la Figura 4, se presentan los resultados de la estimación de la conectividad vial, dada por la cantidad de vías de acceso a los municipios. La información es presentada en términos relativos a cada subregión. De los municipios analizados, los que mayor conectividad vial presentan en Antioquia son San Jerónimo, Cisneros, San Vicente, La Ceja, El Carmen de Viboral, entre otros. Nuestro análisis indica que, en el Oriente Antioqueño, el municipio con mayor conectividad es La Ceja, el cual cuenta con cuatro vías de acceso, mientras que Argelia posee la menor cantidad de vías de acceso (1). En el Anexo 1, se pueden determinar cuáles municipios presentan la mayor y menor conectividad por subregión. En la Figura 5, se presentan los resultados de la estimación de la accesibilidad vial, dada por la ecuación 2. La información es



presentada en términos relativos a cada subregión. Esto nos permite identificar los municipios con mayor peso en términos de esta variable dentro de cada una de estas subregiones. Por ejemplo, en la subregión del Bajo Cauca, el municipio con mejor accesibilidad es Nechí, este presenta vías con mejor estado y menor sinuosidad que las de otros municipios, lo que hace que el tiempo de viaje real se aproxime más al teórico. Algo similar sucede en la subregión del Oriente Antioqueño, donde el municipio de Guarne presenta la mejor accesibilidad. En el Anexo 1, se presenta el ranking de municipios según su accesibilidad vial y por subregión de Antioquia.

### 4.3. Índice de interacción espacial.

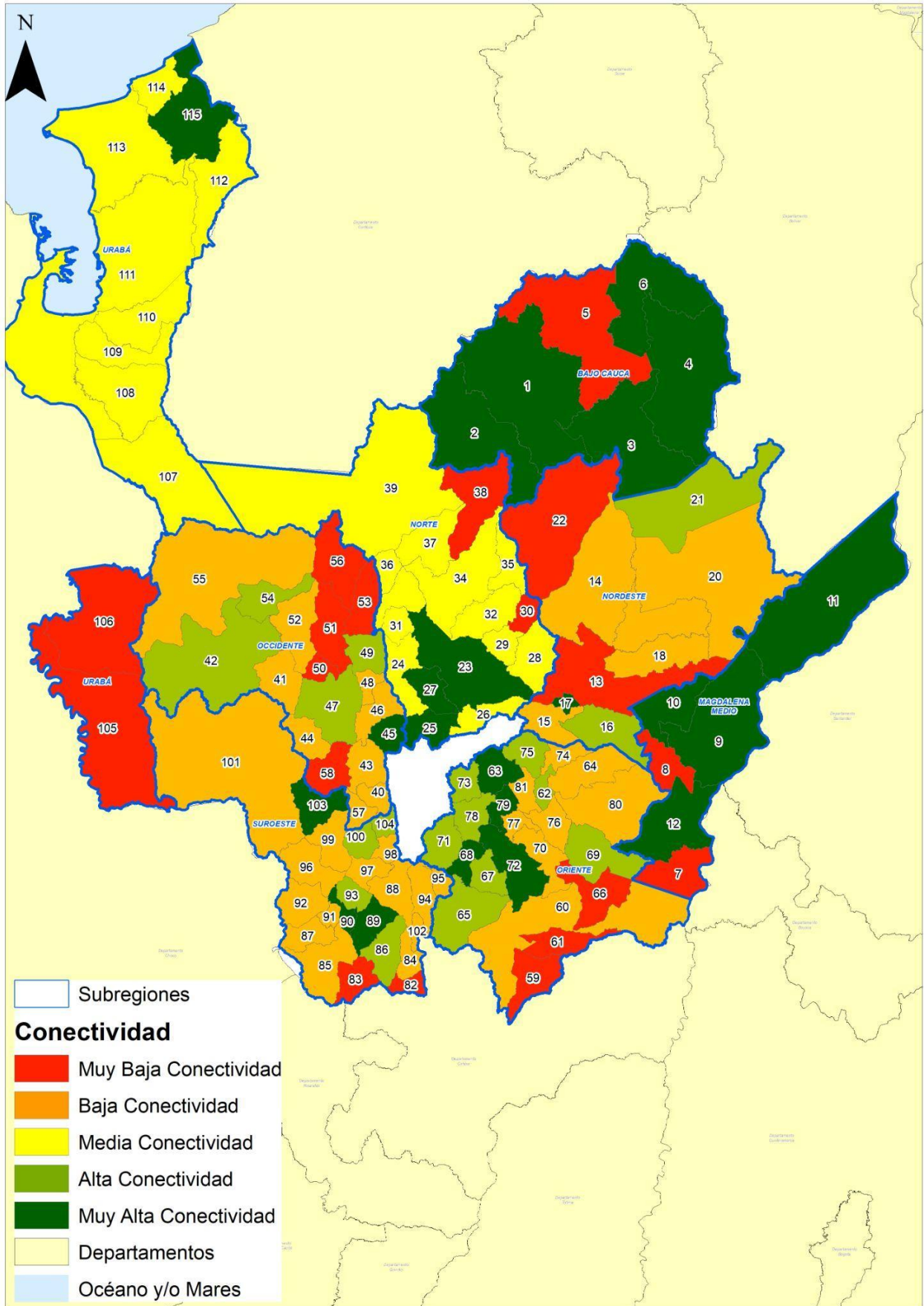
La Figura 6 muestra el resultado del cálculo del índice de interacción espacial. Teniendo en cuenta las variables integradas, este se puede interpretar como un indicador de la importancia espacial de cada municipio dentro de la subregión. Valores altos muestran el grado de impacto que se generaría en esta subregión con la consolidación de una sede física de la Institución en el municipio en cuestión. De acuerdo con esto, se puede determinar que en la subregión del Oriente Antioqueño el municipio más idóneo para la definición de la sede física de la Institución sería Rionegro. Los resultados para cada subregión son presentados en la Tabla 4. Los resultados para cada municipio se presentan en el Anexo 1.

necesidades básicas insatisfechas, entre otros, que hoy se evalúan de manera cualitativa y sin un modelo espacial, lo que sigue implicando que los resultados de este u otro modelo más robusto no necesariamente son la decisión definitiva. Sobre todo, se deberán tener en cuenta análisis cualitativos de otro orden, que tengan el contexto local y regional para determinar la sede. Sin embargo, es un insumo sobre el cual soportar por ahora, variables físicas de relevancia.

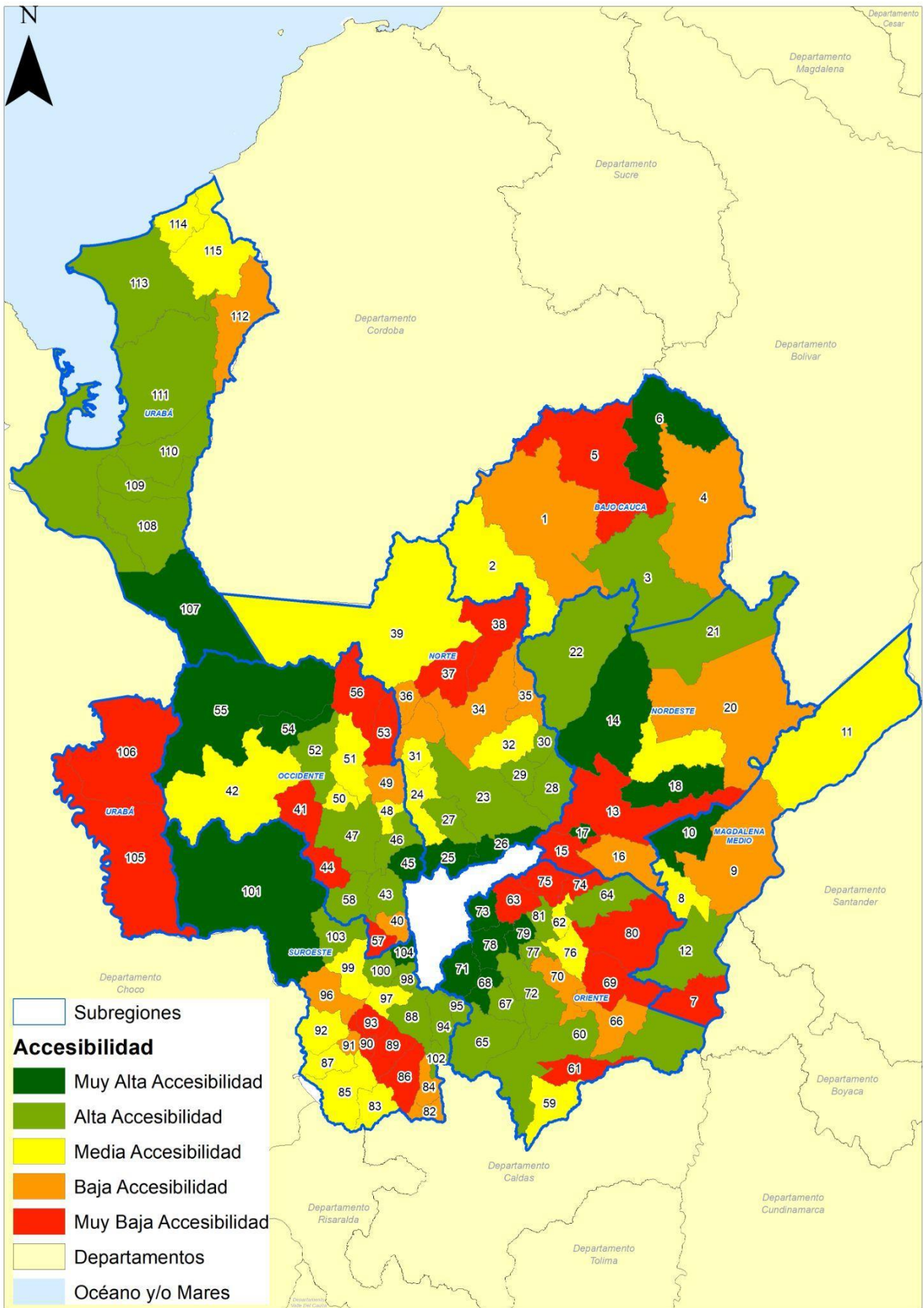
Finalmente, esto es un trabajo inicial que puede derivar en la formulación de estrategias que lleven a definir en todo Colombia, cuáles pueden ser esos lugares que conecten regionalmente equipamientos educativos para ampliar el modelo de educación superior en todas las regiones del país. Además, este análisis aporta a la toma de decisiones de la ubicación de infraestructura física y de todo un proyecto masivo como los Nodos Subregionales de la IUDigital de Antioquia, que se perfila como un modelo de territorialización de la educación superior, orientado principalmente al fortalecimiento de capacidades y al desarrollo de la ruralidad colombiana.

## 5. CONCLUSIONES

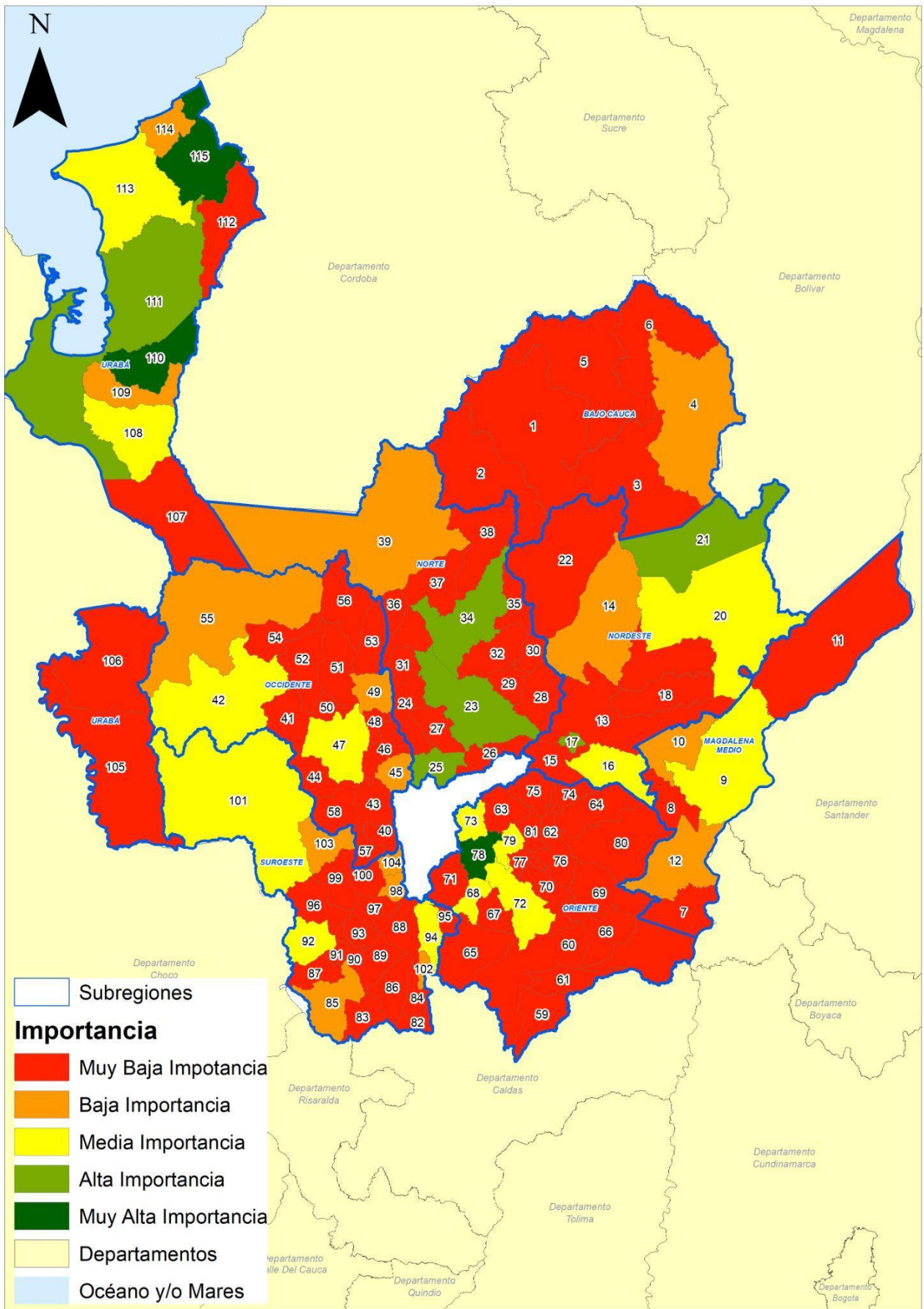
En este trabajo se realizó un análisis de interacción espacial entre los municipios que componen los nodos subregionales de la Institución Universitaria Digital de Antioquia, con el fin de ofrecer un insumo para establecer sus sedes físicas. Este análisis tiene en cuenta la demanda potencial y actual, dadas por la distribución espacial de estudiantes de grado 11 y de la Institución, respectivamente. Si bien se recomienda tener en cuenta estos resultados, no son una variable determinante, ya que, sobre esto se tendrán que analizar otras adicionales para ponderar y tomar la mejor decisión. En este sentido, se podría formular y ejecutar un modelo más complejo, que incluya las variables analizadas aquí y otras como voluntad política, base social, orden público,



**Figura 4.** Conectividad vial de los municipios por subregión de Antioquia. Los códigos en el mapa hacen referencia a los municipios en el Anexo 1.



**Figura 5.** Accesibilidad vial de los municipios por subregión de Antioquia. Los códigos en el mapa hacen referencia a los municipios en el Anexo 1.



**Figura 6.** Interacción espacial de los municipios por subregión de Antioquia. Los códigos en el mapa hacen referencia a los municipios en el Anexo 1.

**Tabla 4.** Municipios con mayor importancia espacial para la consolidación de sedes físicas por subregión.

Subregión	Mayor importancia espacial
Oriente	Rionegro
Urabá	Apartado
Bajo Cauca	El Bagre
Suroeste	Santa Barbara
Norte	San Pedro de los Milagros
Occidente	Santa Fe de Antioquia
Nordeste	Segovia
Magdalena Medio	Puerto Berrio

## REFERENCIAS

- Alarcón Hincapié, J. C., y Pabón Caicedo, J. D. (2013). El cambio climático y la distribución espacial de las formaciones vegetales en Colombia. *Colombia forestal*, 16(2), 171-185.
- Albornoz Del Valle, E. A., Núñez Cerda, F. J., y Mena Frau, C. (2020). Geomarketing: Desde una visión comercial a una aplicación social, en contextos metropolitanos. *Revista de Geografía Norte Grande*, (76), 143-167.
- Aragón-Hernández, J. L., Aguilar-Martínez, G. A., Velázquez-Ríos, U., Jiménez-Magaña, M. R., y Maya-Franco, A. (2019). Distribución espacial de variables hidrológicas. Implementación y evaluación de métodos de interpolación. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 20(2), 0-0.
- Arias, F. C., Cardozo, O. D., y Parras, M. A. (2016). Análisis de conectividad y densidad de la red vial en la Reserva Natural del Iberá con Sistemas de Información Geográfica (SIG).
- Banerjee, A., Duflo, E., y Qian, N. (2020). On the road: Access to transportation infrastructure and economic growth in China. *Journal of Development Economics*, 145, 102442.
- Bautista, A. F. (2018). Análisis de accesibilidad y conectividad de la red vial intermunicipal en el microsistema regional de la provincia Centro en Boyacá, Colombia. *Perspectiva geográfica*, 23(1), 123-141.
- Beltrán, K., Salgado, S., Cuesta, F., León-Yáñez, S., Romoleroux, K., Ortiz, E., ... y Velástegui, A. (2009). Distribución espacial, sistemas ecológicos y caracterización florística de los páramos en el Ecuador. *EcoCiencia, Proyecto Páramo Andino y Herbario QCA*. Quito, 14-150.
- Buzai, G. D., Humacata, L., y Principi, N. (2019). Análisis espacial con sistemas de información geográfica. Bernal: Universidad Nacional de Quilmes.
- Chereque-Lizarzaburu, B. F., y Delgado-Alva, M. F. (2020). El impacto de la infraestructura vial sobre la educación rural: análisis de los canales de transmisión del impacto y de la evidencia empírica de la literatura.
- Franco-Naranjo, A. M., y Muñoz-Arroyave, E. A. (2020). Obras de infraestructura vial como aporte al desarrollo local. Caso: Doble Calzada Oriente (DCO) Palmas–El Tablazo, Antioquia.
- Fuentes-Álvarez, J. A. (2020). Análisis de la accesibilidad espacial hacia los equipamientos educativos en el área urbana del municipio de Santa Cruz de Loricá.
- Garnica-Berrocal, R. (2012). Análisis espacial de los equipamientos educativos (oficiales) en la ciudad de Montería, Colombia. *Estudios socioterritoriales*, 12, 0-0.
- Gaspari, F. J., Díaz Gómez, A. R., Delgado, M. I., y Senisterra, G. E. (2015). Evaluación del Servicio Ambiental de provisión hídrica en cuencas hidrográficas del sudeste bonaerense, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 114.
- Jerez-Calero, M. E., Llerena-Cepeda, S. L., & Zamora-Sánchez, R. (2018). Estudio de satisfacción

- poblacional a la red vial intercomunitaria Quisapincha-Pasa. *INNOVA Research Journal*, 3(3), 95-108.
- Lache-González, J. O. (2020). La conectividad vial en los Montes de María en el post-conflicto 2018. Estudio de casos: Municipios El Carmen de Bolívar y Ovejas.
- Longley, P. A., y Mateos, P. (2005). Un nuevo y prominente papel de los SIG y el Geomarketing en la provisión de servicios públicos. *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*, (5), 1-5.
- López-Pachón, J. R. (2019). Selección de la ubicación para la nueva sede de una academia de música vallenata en la ciudad de Bogotá, a través de la implementación de un modelo matemático de optimización (Tesis doctoral, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito).
- Manrique-Losada, B., y Arango-Vásquez, S. I. (2020). Virtual Platform for the Institución Universitaria Digital de Antioquia-Colombia. In 2020 15th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI) (pp. 1-6). IEEE.
- Martínez-Bascuñán, M. (2014). Why should we think of structural injustice when speaking about culture?. Revisiting Iris Marion Young on Normalisation, Inclusion and Democracy, 17-32.
- Matus, J. M., Herrera, R. F., Atencio, E., y Pellicer, E. (2019). Análisis de conectividad vial para la planificación urbana: casos de estudios Valparaíso (Chile) y Valencia (España).
- Mejía, M. (2007). Estudio Exploratorio de la Distribución Espacial de los Estudiantes de Ingeniería de Una Universidad Privada en la Ciudad de Mexico. *AMCIS 2007 Proceedings*, 79.
- Mendoza-Barreto, S. A. (2018). Distribución de las instituciones de educación superior: un análisis de equidad espacial para la ciudad de Cali (Doctoral dissertation).
- Montero, A. E. L., y Brito, M. S. (2019). Distribución espacial de macroinvertebrados bentónicos móviles en el intermareal rocoso de San Lorenzo, Ecuador. *La Técnica*, (21), 17-30.
- Montoya, J. A., Escobar, D. A., y Moncada, C. A. (2020). Análisis de accesibilidad urbana a partir de intervenciones viales mediante sistemas de información geográfica. Caso de estudio, la malla vial del municipio de Quibdó, en Colombia. *Información tecnológica*, 31(2), 19-30.
- Morera-Chacón, B. H. (2020). Relación entre la presencia de equinos de trabajo (*Equus caballus*) y la distribución espacial y temporal del venado cola blanca (*odocoileus virginianus*) en el Parque Nacional Santa Rosa.
- Mulongu, G. (2013). Inequality in accessing higher education in Kenya; Implications for economic development and well-being. *International Journal of Humanities and Social Science*, 3(16), 49-61.
- Muñoz, J. D., Martínez, L. J., y Giraldo, R. (2006). Variabilidad espacial de propiedades edáficas y su relación con el rendimiento en un cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Agronomía Colombiana*, 24(2), 355-366.
- Narváez-Pérez, L. F. (2021). Análisis de la distribución espacial y accesibilidad geográfica a los equipamientos educativos de la margen derecha del Municipio de Santa Cruz de Lorica.
- Popova, Y. (2017). Relations between wellbeing and transport infrastructure of the country. *Procedia Engineering*, 178, 579-588.
- Prieto-Lizarazo, J., y Pinzón-Restrepo, P. A. Análisis Espacial para la Localización de Nuevos Equipamientos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en el Marco de la Política de Consolidación de la Dispersión del Plan Maestro de Desarrollo Físico 2008-2016, para la Ciudad Región.
- Restrepo-Quintero, V. (2023). Patrones de localización espacial y dinámica económica espacial del municipio de Rionegro: análisis al plan vial 2017-2021.
- Ríos-Durango, A. E. (2020). Distribución y análisis espacial del crecimiento urbano, los equipamientos,

actividades de comercio y servicios más una mirada prospectiva de la comuna 8 de Montería desde sus inicios hasta la actualidad.

Geográfica (SIG) en la ciudad de Bogotá, Colombia. *IDEA Construcción y Madera*, 2(2), 78-87.

Rodríguez-Collazos, O. (2017). Espacialización y localización de la población educativa para la relocalización de equipamientos educativos en la ciudad de Neiva.

Saltaín Molino, M. A. (2017). Diseño de una metodología para evaluación de accesibilidad de transporte no motorizado.

Sánchez, D., Sassone, S., y Matossian, B. (2007). Barrios y áreas sociales de San Carlos de Bariloche: análisis geográfico de una ciudad fragmentada. In *IX Jornadas Argentinas de Estudios de Población*. Asociación de Estudios de Población de la Argentina.

Vázquez, S. (2017). Cooperación Para La Reducción De La Desigualdad Educativa En América Latina. El Enfoque De La Organización Visión Mundial. *Iberoforum. Revista de Ciencias Sociales de la Universidad Iberoamericana*, 12(23), 102-127.

Velasquez Ovalle, M. A. (2019). Análisis Espacial de la Cobertura de Atención de las Estaciones de Bomberos en la Ciudad de Bogotá, Colombia, usando herramientas SIG.

Vicuña, M., Orellana, A., Truffello, R., y Moreno, D. (2019). Integración urbana y calidad de vida: disyuntivas en contextos metropolitanos. *Revista Invi*, 34(97), 17-47.

Vono, D., y Domingo, A. (2007). El retorno de españoles desde América Latina: características demográficas y distribución espacial de los flujos entre 1988 y 2006. *Cuadernos geográficos*, (41), 7-31.

Waddell, P. (2002). UrbanSim: Modeling urban development for land use, transportation, and environmental planning. *Journal of the American planning association*, 68(3), 297-314.

Zabala, J. F. G. (2020). Localización óptima de viveros ornamentales con Sistemas de Información

# Caracterización y desafíos comerciales de los pequeños y medianos productores del municipio de Sonsón.

Claudia Quintero Galeano <sup>1</sup> (\*), Cesar Rivera Martínez<sup>1</sup>, Diego Zapata Arango <sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Institución Universitaria Digital de Antioquia, Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables, Medellín, Colombia

**Resumen:** En Colombia, el sector rural se está viendo afectado por múltiples aspectos que limitan el desarrollo y sostenibilidad de las familias, entre ellos encontramos factores climáticos, alza en los precios de los insumos agrícolas, poca asociatividad, no existe un modelo de comercialización eficiente, ventas por medio de intermediarios, volatilidad de precios, importaciones, mal estado de las vías o inexistencia de estas, lo que dificulta la comercialización de los productos agrícolas. De acuerdo con el “Plan de Desarrollo Unidos por la Vida”, (Gobernación de Antioquia, 2020, p. 447) se identificó que el 74% de los alimentos consumidos en Medellín y Valle de Aburrá no se producen en Antioquia, el 65% se produce en otros departamentos y un 9% por otros países. Estas cifras son preocupantes porque evidencia el gran problema que se presenta en el campo colombiano con el poco retorno económico que reciben los productores al vender sus cosechas, además identificaron que el 80% del precio de lo que paga el consumidor final corresponde a ganancias para los intermediarios en la cadena de comercialización

A través de un estudio descriptivo basado en encuestas previamente evaluadas bajo el juicio de expertos, Coeficiente de validez de contenido Hernández - Nieto, se identificaron las principales barreras que limitan su acceso a mercados más amplios, incluyendo la falta de asociatividad, venta a través de intermediarios y carencia de productos con valor agregado. Los resultados subrayan la necesidad de fortalecimiento de las capacidades comerciales de estos productores, promoviendo su integración en cadenas de valor más robustas. Las conclusiones ofrecen recomendaciones prácticas para mejorar la competitividad y sostenibilidad de los productores locales en un contexto económico desafiante.

**Palabras clave:** Productores, asociatividad, distribución, comercialización, sector rural.

Recibido: 15 de junio de 2024. Aceptado: 31 de agosto de 2024

Received: June 15th, 2024. Accepted: August 31st, 2024

# Characterization and commercial challenges of small and medium producers in the municipality of Sonsón.

**Abstract:** In Colombia, the rural sector is being affected by multiple aspects that limit the development and sustainability of families, including climatic factors, rising prices of agricultural inputs, poor associativity, lack of an efficient marketing model, sales through intermediaries, price volatility, imports, poor or non-existent roads, which hinders the marketing of agricultural products.

According to the development plan "United for Life" (Government of Antioquia, 2020, p. 447) it was identified that 74% of the food consumed in Medellín and Valle de Aburrá is not produced in Antioquia, 65% is produced in other departments and 9% by other countries. These figures are worrisome because they evidence the great problem that exists in the Colombian countryside with the little economic return that producers receive when selling their crops, and they also identified that 80% of the price paid by the final consumer corresponds to profits for the intermediaries in the commercialization chain.

Through a descriptive study based on surveys previously evaluated under the expert judgment, content validity coefficient Hernández - Nieto, the main barriers that limit their access to broader markets were identified, including the lack of associativity, sales through intermediaries and lack of value-added products. The results underscore the need to strengthen the commercial capacities of these producers, promoting their integration into more robust value chains. The conclusions offer practical recommendations for improving the competitiveness and sustainability of local producers in a challenging economic context

**Keywords:** Producers, associativity, distribution, marketing, rural sector.



## 1. INTRODUCCIÓN

Este estudio tiene como objetivo arrojar luz sobre los aspectos demográficos, educativos, económicos, productivos que configuran el panorama agrícola y a su vez los desafíos comerciales de los pequeños y medianos productores del municipio de Sonsón proporcionando una radiografía detallada que servirá como base para alternativas de modelos de comercialización y distribución innovadoras y pertinentes para el municipio y la zona páramo de la subregión del Oriente Antioqueño.

El municipio de Sonsón, Antioquia, se destaca por su diversidad en pisos térmicos, lo que le permite ser una gran despensa agrícola. Según ASENRED (2023), cada día salen del municipio entre 400 y 500 toneladas de productos agrícolas, tanto transitorios como permanentes, convirtiéndose este en el principal renglón de la economía local. Esta diversidad agrícola no solo es un reflejo de las condiciones climáticas favorables, sino también de la importancia que tiene el sector agropecuario en el desarrollo económico de la región.

De acuerdo con las fichas de Terridata del Departamento de Planeación Nacional (2024), Sonsón cuenta con una población de 38.520 habitantes, de los cuales 18.481 (48%) son rurales y 20.039 (52%) son urbanos. El municipio abarca una superficie de 1.339 km<sup>2</sup> y, a nivel nacional, pertenece a la región del Eje Cafetero. Estos aspectos demográficos y territoriales configuran el contexto en el que se desarrolla la actividad agrícola.

Sin embargo, a pesar de su potencial agrícola, las unidades productivas, ya sean individuales, asociativas u organizadas de otras formas, enfrentan diversas dificultades. Estas dificultades van desde problemas en sus estructuras operativas y empresariales, hasta desafíos en la distribución y comercialización de sus productos. Estas limitaciones han impactado negativamente el desarrollo social y económico tanto en las zonas rurales como en las urbanas.

En las últimas décadas, se ha evidenciado la creación de grupos y organizaciones asociativas de productores rurales en el sector agropecuario. No obstante, muchos de estos grupos carecen de los fundamentos necesarios para garantizar su sostenibilidad en el tiempo. Además, no cuentan con herramientas tecnológicas innovadoras que les permitan mejorar la comercialización a través de diferentes canales, lo que podría aumentar sus ingresos y rendimientos, evitando así que la larga cadena de comercialización existente se lucre más que los propios productores.

Finalmente, el desconocimiento empresarial de estas unidades productivas, así como la falta de estudios y diagnósticos enfocados en la población que desarrolla su economía alrededor del sector agrícola, ha llevado a un bajo aprovechamiento de las oportunidades en la comercialización y distribución de productos. Por ello, resulta fundamental comprender los aspectos demográficos, educativos, económicos y productivos que configuran el sector agrícola en Sonsón, como base para explorar alternativas de modelos de comercialización y distribución innovadores que permitan

enfrentar los desafíos en términos de sostenibilidad y acceso a herramientas tecnológicas y conocimientos empresariales adecuados.

## 2. MARCO TEÓRICO

Este marco teórico proporciona la base conceptual para comprender los desafíos, oportunidades y dinámicas que influyen en la comercialización y distribución de productos agrícolas, especialmente aquellos producidos por pequeños y medianos agricultores del municipio de Sonsón en la región del oriente Antioqueño.

### Producción agrícola de Sonsón

En las evaluaciones agropecuarias del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2020) se puede evidenciar que la producción agrícola del municipio de Sonsón se encuentra diversificada, donde se destacan algunos cultivos tradicionales predominando en la oferta de la región y siendo complementarios en su producción. Para el año 2020 fue notoria la concentración que posee la producción en los renglones de café, aguacate, y plátano.

### Desafíos del sector agrícola

El Foro Mundial sobre la Alimentación (FAO, 2023) destacó la importancia de cerrar las brechas tecnológicas en países de ingresos bajos y medios, así como en pequeños Estados insulares en desarrollo. Se enfatizó la necesidad de hacer accesibles datos, información, conocimiento, inversión e innovación para transformar los sistemas agroalimentarios en más eficientes, inclusivos, resilientes y sostenibles. Además, se señaló el creciente impacto de los desastres relacionados con el clima en estos países, lo que subraya la urgencia de una acción climática audaz y basada en investigaciones sólidas.

Lo anterior permitirá a los pequeños y medianos agricultores acceder a información sobre las mejores prácticas agrícolas, técnicas de cultivo más eficientes, gestión del suelo, mejor manejo de recursos hídricos, y métodos para enfrentar los desafíos climáticos logrando decisiones informadas que mejoren la productividad, la calidad de sus cultivos, ingresar a nuevos mercados y crear valor agregado para sus productos.

De acuerdo con la cámara de comercio del oriente Antioqueño (CCOA, 2022) los municipios de la zona paramo son una población en su mayoría rural, con bajos niveles de desarrollo e infraestructura vial, se caracterizan por la combinación de pisos térmicos frío, medio y cálido, estos municipios son Abejorral, Argelia, Nariño y Sonsón.

En el informe final de la tierra para uso agropecuario en Colombia: Equidad y productividad de acuerdo con (Perfetti, et al 2024) se menciona que entre los problemas identificados están la falta de institucionalidad, infraestructura, información, adopción de estándares de calidad y buenas prácticas. Donde además se hace referencia a las consecuencias en pérdida de eficiencia dada la posición dominante de algunos eslabones de la cadena; en este sentido se puede evidenciar la importancia

de la articulación entre los diferentes actores para lograr penetrar en nuevos mercados, innovar, mejorar la calidad y rentabilidad de los productos agrícolas.

La investigación sobre “Barreras existentes para el acceso a las alternativas de financiación para proyectos de emprendimiento y pequeñas empresas relacionadas con el sector agro en Colombia” Los autores Farfán Torres & García Páez (2023) revelaron diversas opciones de financiamiento provenientes tanto de entidades públicas como privadas, además de iniciativas gubernamentales destinadas a respaldar el desarrollo y crecimiento de proyectos agrícolas en Colombia.

A pesar de estos esfuerzos, las pequeñas empresas y emprendimientos del sector sienten una falta de respaldo en sus actividades comerciales. La escasez de información sobre proyectos y posibles fuentes de financiación dificulta su acceso a recursos financieros.

### **Asociatividad**

Se tiene la creencia de acuerdo con (Díaz, et al 2020) que la economía solidaria es una forma de asociación que solo da un reconocimiento jurídico más no se da importancia que tiene este modelo en materia económica en cuanto a la producción, comercialización y distribución del trabajo cooperativo pues, cuando este se realiza de manera individual se presentan mayores costos al momento de distribuir los productos, dificultando el acceso a grandes mercados y permitiendo que los intermediarios sean quienes vendan a mejores precios por poseer el volumen necesario quedando estos con mejores ganancias dentro de la cadena de distribución, afectando este modelo que permitiría a las comunidades comercializar y distribuir sus productos de una manera adecuada donde todas las partes se beneficien.

Adicionalmente (Díaz, et al 2020) han considerado que la economía solidaria puede convertirse en una herramienta que brinde garantías a la equidad, paz social y justicia. Con la creación de diferentes estrategias, proyectos, políticas o programas se brindarán garantías y motivación para la asociatividad de libre elección. Reconociendo la importancia de sensibilizar y educar a las personas en el ámbito cultural, con esto permitiendo que logren identificar los beneficios del trabajo desde la cooperación y las desventajas para el trabajo individualista.

Para pensar en el futuro de estas organizaciones y la creación de nuevos modelos cooperativos que sean sostenibles es importante comprender que son proporcionales al crecimiento de la sociedad, esto implica innovación, identificar necesidades insatisfechas en el sector privado o público para suplirlas con los sistemas de comercialización. Para lograr esto se requiere la sensibilización de los productores y un trabajo articulado con los diferentes sectores y actores involucrados en la cadena productiva, de comercialización y distribución. Además de tener la capacidad de innovación y adaptación a las diferentes circunstancias que en el desarrollo de las actividades puedan presentarse, (Díaz, et al 2020).

En Colombia la economía solidaria es reconocida por impulsar emprendimientos y contribuir al desarrollo de las comunidades, de acuerdo con el Departamento de Planeación Nacional (2021) el Consejo Nacional de Política Económica y social (CONPES) aprobó en octubre del 2021 una política pública la cual es estratégica y articulada que busca dar reconocimiento y prosperidad al mencionado sector. Su implementación será entre 2021 y 2025 la cual busca aumentar el alcance y el impacto, esto a partir de 42 acciones definidas en la política, el punto de partida definido fue crear y poner en funcionamiento el Fondo de Promoción y Fomento para el Desarrollo de la Economía Solidaria, donde se beneficiarán emprendimientos de asociativos teniendo en cuenta de manera especial los que provienen de organizaciones del área rural a nivel nacional.

En un estudio realizado a cultivo de guayaba en Vélez Santander sobre Asociatividad como estrategia de productividad y competitividad del sector agrícola, por Buenhombre Vázquez & Mariño Becerra (2022, p. 630) los principales impactos encontrados bajo este modelo fueron el acceso a nuevos mercados, la mejora de las tecnologías de producción, el aumento de la producción y la mayor capacidad y poder de negociación.

De acuerdo con Buenhombre Vázquez & Mariño Becerra(2022, p. 630) los factores anteriormente mencionados tuvieron un impacto positivo y común en los ingresos de los productores agrícolas al lograr a través de la asociatividad precios competitivos al momento de realizar la comercialización de sus productos.

### **Tecnología e innovación**

Uno de los desafíos que enfrentan los pequeños y medianos productores es la falta de innovación. Según Gallego Tavera et al. (2020), la innovación es fundamental para el desarrollo de las sociedades humanas, ya que impulsa avances en diversas disciplinas científicas y en políticas de cooperación internacional. Además, los autores destacan la importancia de considerar el conocimiento humano como un recurso universal que debe ser compartido sin restricciones, trascendiendo las fronteras nacionales.

La implementación de la tecnología y la innovación en la producción agrícola está orientada a mejorar tanto la eficiencia como la calidad de los productos. Según Buenhombre Vázquez y Mariño Becerra (2022), en la provincia de Vélez, Santander, la colaboración y la asociación en torno al cultivo de la guayaba han tenido un impacto significativo a nivel territorial. Estas mejoras no solo han influido en la calidad de los productos, sino que también han fortalecido las dinámicas locales y regionales, demostrando el valor de la innovación y la tecnología en la agricultura

En respuesta a las nuevas tendencias que impactan a los productores agrícolas, resulta fundamental explorar alternativas en la cadena de producción que incrementen la rentabilidad y aseguren la sostenibilidad a largo plazo de sus sistemas. Una de las estrategias clave es el desarrollo e implementación de aplicaciones móviles para la

comercialización, cuyo objetivo es reducir o eliminar la participación de intermediarios en la cadena de valor. Estas aplicaciones deben estar diseñadas con una interfaz amigable y fácil de usar, facilitando la conexión directa entre productores y consumidores finales, y contribuyendo así a disminuir las brechas existentes en el sector agrícola (Murillo Salamanca & Chaparro Barrera, 2023).

### **Fortalecimiento al sector agropecuario**

Según el informe de la OCDE/FAO (2023), las proyecciones indican una estabilidad en cuanto a las inversiones en tecnología, infraestructura y capacitación en comparación con el año anterior. Esto resultaría en un mantenimiento del crecimiento de la producción agrícola mundial en un 1.1% anual. Se espera que la mayor parte de este crecimiento se registre en países de ingresos medios y bajos. Aunque se supone un mayor acceso a los insumos en estas perspectivas, existe la posibilidad de que los aumentos en los precios de los insumos energéticos y agrícolas, como los fertilizantes, puedan incrementar los costos de producción, lo que a su vez podría ocasionar inflación en los precios de los alimentos y aumentar la inseguridad alimentaria.

La Ley 2046 del 6 de agosto de 2020 del Congreso de Colombia (2020) aborda principalmente el fortalecimiento y promoción del sector agropecuario y agroindustrial del país. Esta ley busca mejorar las condiciones de los agricultores, garantizar su acceso a recursos y tecnología, así como fomentar la producción y comercialización de productos agrícolas. Además, busca impulsar la competitividad del sector y promover la seguridad alimentaria nacional.

La agencia de desarrollo rural (ADR, 2024) desarrolló el Modelo de Atención y de Prestación de Servicios de Apoyo a la Comercialización, una estrategia la cual está orientada a fortalecer la capacidad de comercialización que consideran que deben tener las organizaciones de productores rurales para ser competitivas. El principal aspecto en el portafolio de servicios es la valoración de las capacidades asociativas de comercialización, en su encadenamiento comercial propone alianzas público-privadas, agroindustriales y de exportación; adicionalmente los circuitos cortos proponen planeación, implementación y evaluación de mercados campesinos, desarrollo de misiones y Agro ferias comerciales regionales y nacionales. Para la información plantean la alfabetización digital con énfasis comercial, teniendo como herramienta red de comercialización y base de agentes comerciales, incorporando el enfoque comercial y de mercados en la estructuración de proyectos agropecuarios.

Con respecto a lo anterior es importante resaltar la importancia del trabajo articulado entre los pequeños y medianos productores con agencias e instituciones que tienen como misión contribuir a generar capacidades y oportunidades de comercialización agrícola.

Durante los años 2020, 2021 y 2022 el ministerio de agricultura y medio ambiente adelanto el proyecto “Apoyo a alianzas productivas” establecer una conexión entre pequeños agricultores de zonas rurales y los mercados mediante un

modelo de agronegocio que contara con un socio comercial formal. Este modelo se basaba en una propuesta productiva rentable, sostenible y competitiva, con el fin de fortalecer el aspecto más frágil de la cadena, que es la comercialización. (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022).

La evaluación de impacto y operaciones proyecto apoyo a alianzas productivas del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2022) menciona que los pequeños productores que participaron en el proyecto “Apoyo a alianzas productivas” del ministerio de agricultura y medio ambiente tuvieron como principal motivación el acceso a insumos y asistencia técnica para aumentar la productividad de sus actividades, pero no consideraron tan importante garantizar la venta de sus productos, a pesar de que tener un aliado comercial es uno de los objetivos principales del proyecto. Adicionalmente recomendaron que estos pequeños productores deben articularse con otras instituciones que tienen misiones similares, destacan entre ellas a MADR “coseche y venta a la fija, ADR Agencia de Desarrollo Rural, ART Agencia de Renovación del Territorio, UAEGRTD la cual desarrolla proyectos productivos y acuerdos de comercialización, entre otros. (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022).

El plan de desarrollo municipal 2024-2027 (Alcaldía de Sonsón, 2024) plantea el programa de desarrollo agropecuario competitivo desde la conservación del ecosistema el cual tiene como objetivo “Fortalecer el sector agropecuario desde la sostenibilidad ambiental, con estrategias para la tecnificación, productividad y la internacionalización de los productos agropecuarios.”(PDM,2024 pág 107, parr 2), entre los programas a ejecutar para lograrlo está el servicio de asistencia técnica agropecuaria dirigida a pequeños productores, asesoría para el fortalecimiento de la asociatividad, apoyo para el fomento organizativo de la agricultura campesina, familiar y comunitaria, educación informal en comercialización, asesoría para certificación en comercio exterior, entre otros que permitirán a los productores agrícolas del municipio de Sonsón una mejor organización, un amplio conocimiento para tomar decisiones estratégicas e informadas desde la producción hasta la comercialización, logrando mejorar significativamente la productividad y rentabilidad al mismo tiempo que contribuyen a la conservación del medio ambiente.

### **Comercialización**

La comercialización de productos supone un gran reto para los productores agrícolas en Colombia, Álvarez Estupiñán et al. (2023) mencionan que actualmente está asociada a un aumento en los precios para los consumidores finales, atribuido a los costos elevados de comercialización donde los canales de distribución tienen un rol fundamental para lograr una comercialización efectiva, adicionalmente identificaron una oportunidad significativa de mejora en el sector a través de la implementación de un Marketplace, considerando las cadenas de distribución y los aspectos financieros que afectan tanto a la economía nacional como a los comerciantes individuales.

Los autores Cano Agudelo & Gutiérrez Osorio (2020) enfatizan la importancia de mejorar los elementos que impactan en todos los eslabones de una cadena competitiva, desde la distribución física hasta actividades como conservación, almacenamiento, transformación, empaque y transporte de productos o subproductos. Para lograr este objetivo, se requiere una red eficiente de servicios que incluya capital humano capacitado, así como infraestructura productiva y apoyo por parte de las instituciones públicas para fomentar la coordinación y la agregación de valor en diferentes etapas.

El estudio realizado por Bernal Ángel, et al. (2020) sobre la comercialización de productos agrícolas en Anolaima concluyó que se ha desarrollado a partir de relaciones comerciales naturales entre productores y comerciantes, adicionalmente se ha implementado un programa municipal de transformación agropecuaria llamado "Misiones de comercialización" para mejorar esta actividad en el sector rural. El modelo desarrollado integra componentes geográficos y ofrece resultados derivados de variables cuantitativas asociadas a la producción y comercialización agrícola.

De acuerdo con el artículo publicado en la Universidad de Antioquia (Cruz Cárdenas, 2021), quien menciona que: Según Steven Riascos Carabalí director de sistemas de información y estudios económicos de la federación colombiana de productores de papa (FEDEPAPA), la intermediación es necesaria para los agricultores debido a la falta de servicios logísticos y restricciones de operación. Sin embargo, esta intermediación se convierte en un problema cuando hay una larga cadena de intermediarios, esto se debe a que esta se convierte en un obstáculo cuando la comercialización pasa por una extensa cadena de intermediarios, lo cual reduce el valor del producto y afecta tanto a los agricultores como a los consumidores finales.

El artículo "Aproximación a un sistema asociativo de comercialización para productos agrarios de pequeños y medianos productores" donde según Acevedo González & Munera Ramírez (2020) se evidencia malas prácticas de comercialización en los 23 municipios del oriente antioqueño donde al momento de formalizar las ventas interfieren factores como el transporte y los intermediarios, además afrontan dificultades que tienen como punto de partida la comercialización con intermediarios y mayoristas, negociando a bajos precios, donde el campesino tiene una gran desventaja competitiva. Resaltan la baja capacidad asociativa presente en la región lo que ha afectado su poder de negociación.

El estudio "Diseño de un modelo de negocio para la comercialización digital de productos agrícolas y agroindustriales entre productores y consumidores finales" donde el autor Palomino (2022) menciona en sus conclusiones que, en el mercado colombiano, la cadena de valor para productos agrícolas y agroindustriales está saturada de intermediarios, lo que aumenta los costos y dificulta el acceso al consumidor final. El e-commerce emerge como una solución para reducir estos intermediarios, aprovechando la tendencia de compras digitales y el crecimiento de empresas

foodtech, así como el aumento del consumo consciente. Sin embargo, se enfrenta a desafíos como la baja alfabetización digital y la informalidad, especialmente en zonas rurales.

### 3. METODOLOGÍA

Este proyecto se realizó con metodología mixta de investigación a través de 8 fases las cuales permitieron una comprensión más completa de los desafíos y oportunidades en la cadena de comercialización y facilitó el diseño de una propuesta de un modelo de comercialización que permita mejorar las oportunidades y calidad de vida de los pequeños y medianos productores agrícolas del municipio de Sonsón.

#### Fase 1: Estado del arte

Se realizó a partir de fuentes documentales gubernamentales que permitieron identificar datos relevantes sobre la ruralidad colombiana y antioqueña. Adicionalmente con el apoyo de algoritmos se encuentran investigaciones relacionadas con la comercialización y la asociatividad en otras regiones del país lo que permitió identificar desafíos y oportunidades para los pequeños y medianos productores.

#### Fase 2: Identificación de Actores

Para identificar los actores y su valor en la cadena de producción, comercialización y distribución agrícola se toma como referencia la información del estado de arte, para diseñar la matriz de involucrados teniendo en cuenta problemas, intereses y posibles estrategias

#### Fase 3: Inventario de Asociaciones

En búsqueda de conocer el nivel de asociatividad se realizó el inventario de las asociaciones del municipio de Sonsón y algunas de la región a partir de llamadas, correos electrónicos y visitas a alcaldías. Este inventario detalla el nombre, responsable, actividad y total de afiliados lo que permitió conocer la dinámica de asociación en el municipio y la región

#### Fase 4: Levantamiento de Información Agropecuaria

Con el fin de conocer cuáles son los cultivos y áreas sembradas entre cultivos permanentes y transitorios se buscaron las fichas de las Evaluaciones Agropecuarias Municipales (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural 2020) lo que permitió realizar el levantamiento de la información agropecuaria y ser la base para definir el Pareto identificando de este modo los cultivos más representativos del municipio.

#### Fase 5: Definición de muestra

Debido a la extensión del municipio se realiza muestreo estratificado dirigido a pequeños y medianos productores agrícolas del municipio de los cultivos más representativos identificados en el Pareto que se obtuvo del levantamiento de , donde de los 9 corregimientos se seleccionan 4 para la investigación. Posteriormente de los corregimientos se realiza un muestreo aleatorio simple para aplicar el instrumento.

## Fase 6: Diseño de instrumento de recolección de la información.

Con base en los aspectos anteriormente mencionados se diseñó el instrumento de recolección de información el cual fue valorado por tres expertos teniendo en cuenta el instrumento de validación de datos método basado en juicio de expertos, Coeficiente de validez de contenido Hernández - Nieto el cual al aplicar la prueba nos arroja los valores para evaluar.

De acuerdo con (Sánchez, 2021, pág 2, parr 4) La interpretación del coeficiente de validez de contenido es:

- Menor a 0.6 validez y concordancia inaceptables.
- Igual o mayor de 0.6 y menor a 0.7, validez y concordancia deficientes.
- Mayor que 0.71 y menor o igual que 0.8, validez y concordancias aceptables.
- Mayor que 0.8 y menor o igual a 0.9, validez y concordancias buenas.
- Mayor que 0.9, validez y concordancia excelentes.

Las valoraciones dadas por los tres expertos para validación de datos método basado en juicio de expertos, Coeficiente de validez de contenido Hernández - Nieto fueron analizadas para conocer la validez de constructo, criterio y confiabilidad. Lo que permitió eliminar preguntas que no cumplieron con la calificación para ser aplicadas, por debajo de 0.8.

Se realizó prueba piloto en 7 encuestas para verificar que no existan problemas potenciales como ambigüedades en las preguntas de la encuesta, errores en los procedimientos de recolección de datos o fallos en la logística antes de ser aplicadas a la población objetivo

## Fase 7: Aplicación del instrumento de recolección

El muestreo fue estratificado, de acuerdo con Piedra & Maqueros (2021) este es un diseño de muestreo probabilístico en el que dividimos a la población en subgrupos o estratos. La estratificación puede basarse en una amplia variedad de atributos o características de la población en este caso a pequeños y medianos productores agrícolas de los cultivos más representativos del municipio de Sonsón.

El tipo de muestreo fue no probabilístico por conveniencia

Este instrumento fue aplicado a 86 pequeños y medianos productores del municipio de Sonsón de diferentes veredas del municipio, no se logró llegar a más población por la extensión del municipio.

Se tuvieron en cuenta los cultivos que conforman el Pareto realizado tomando como fuente de información las evaluaciones agropecuarias del año 2022, identificando por medio del análisis e interpretación de datos los cultivos que corresponden al 80% de la producción siendo estos los más representativos para el municipio.

## Fase 8: Análisis de la información

Se procedió a examinar y extraer información significativa de las respuestas recopiladas mediante el formulario en Google Forms, para analizar la información recopilada en el instrumento de recolección de información.

A partir de la información de las diferentes fuentes documentales, el inventario de asociaciones, la información agropecuaria del municipio, la matriz de involucrados y con base en la información recolectada se construyó una propuesta de modelo de comercialización para pequeños y medianos productores del municipio de Sonsón.

## 4. RESULTADOS Y/O DISCUSIÓN

El municipio de Sonsón tiene nueve corregimientos y 107 veredas, el muestreo fue hecho en 4 de los 9 corregimientos de la siguiente manera:

**Corregimiento cabecera municipal:** 48 personas, 11 veredas.

**Corregimiento Los Medios:** 19 personas, 7 veredas.

**Corregimiento El Alto de Sabana:** 12 personas, 3 veredas

**Corregimiento los potreros:** 7 personas, 2 veredas

En la caracterización de los pequeños y medianos productores agrícolas del municipio de Sonsón se logró conocer el nivel de escolaridad de los pequeños productores del municipio de Sonsón, la destinación de los ingresos por ventas de los productos, costo del transporte, periodos de producción y acompañamiento técnico. Además, permitió identificar desafíos comerciales como el bajo nivel de asociación, la venta a través de intermediarias y la carencia de valor agregado en los productos vendidos.

Estos hallazgos son consistentes con la literatura existente sobre las limitaciones enfrentadas por productores en contextos rurales similares, donde la fragmentación y la falta de estrategias de diferenciación limitan las oportunidades de mercado y la rentabilidad.

### Actores en la cadena de comercialización

Al realizar la matriz de involucrados se logró conocer quiénes son los actores relevantes que tienen un interés directo o indirecto con los pequeños y medianos productores del municipio de Sonsón en la cual se pudieron definir oportunidades de colaboración y posibles riesgos asociados con cada actor involucrado, lo cual sirvió para diseñar la propuesta del modelo de comercialización (Figura 10)

Donde se identificaron 7 grupos con 32 actores como se puede observar en la tabla 1, donde se identificó que todos los actores en esta cadena están interconectados y los problemas de un grupo afectan a todos los demás.

La colaboración entre todos los actores es esencial para abordar los problemas de manera integral. Esto incluye la formación de asociaciones, la mejora en la infraestructura, y la adopción de tecnologías innovadoras.

**Tabla 1**  
*Involucrados en la producción, comercialización, distribución de productos agrícolas del municipio de Sonsón*

Grupo	Actores
Productores	Patrocinador
	Agricultor
	Asociaciones
Personal de apoyo	Asesores técnicos
	Mano de obra
Proveedores	Almacén Agropecuaria
	Proveedor material organico
	Proveedor maquinaria
	Proveedor de herramientas
Transporte	Proveedor de reparación de maquinaria
	Vehículos
	Animales de carga
Distribuidores	Fleteros
	Mercados Urbanos
	Mercados campesinos
	Intermediarios
	Minorista
	Mayorista
	Centrales de abastos
	Agroindustria
	Comercializadoras nacionales
	Comercializadoras internacionales
Compañías digitales	
Entidades financieras	Cliente final
Entes gubernamentales	Bancos
	Cooperativas
	CORNARE (Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare)
	SARYMA Secretaria de Asistencia Rural y Medio ambiente (UMATA)
	ICA (Instituto Colombiano Agropecuario)
	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural:
	Agencia de Desarrollo Rural (ADR)
	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agro Savia (Agro Savia)

**Nota:** Creación propia

**1.Productores:** Son el núcleo de la cadena agrícola, pero están atrapados en un ciclo de dependencia de intermediarios y vulnerabilidad a factores externos como el clima y el mercado. Las estrategias para mejorar deben apuntar a mejorar la autosuficiencia y la resiliencia. Donde requieren apoyo externo significativo, como asistencia técnica y acceso a nuevas tecnologías.

**2.Personal de apoyo:** Los asesores técnicos juegan un papel crucial en la transferencia de conocimientos y la mejora de las prácticas agrícolas, sin embargo, enfrentan desafíos culturales y ambientales que limitan su efectividad. Por lo que deberían crear un entorno más receptivo a nuevas prácticas, lo cual puede lograrse mediante un enfoque más participativo y adaptado a las necesidades locales.

La mano de obra es indispensable para realizar las diferentes labores en el municipio se encuentra mano de obra bajo

modalidades como jornales, contratistas y personal legalmente contratado.

**3.Proveedores:** La sostenibilidad de los proveedores es esencial para toda la cadena de suministro agrícola y su capacidad para influir en los costos es limitada, y depende de factores macroeconómicos.

**4.Transporte:** Es un eslabón crítico que afecta directamente la calidad y costo de los productos agrícolas. El cual requiere de estrategias como la mejora de infraestructuras y la mejor coordinación con los compradores y demás productores, pero dependen en gran medida del apoyo gubernamental y comunitario.

**5.Distribuidores:** Están en una posición difícil, donde las fluctuaciones del mercado y la falta de coordinación en la producción agrícola les afectan significativamente, muchos de los productos pasan por más de un distribuidor antes de llegar al cliente final incrementando su precio.

**6.Entidades financieras:** Son vitales para proveer el capital necesario que impulsa la modernización y expansión del sector agrícola. Sin acceso a financiamiento, los productores no pueden invertir en tecnología, infraestructura o incluso en la compra de insumos básicos, lo que limita su capacidad de crecimiento y su competitividad en el mercado.

**7.Entes gubernamentales:** Son fundamentales para establecer el marco regulatorio y proporcionar el apoyo necesario para transformar el sector agrícola. Sin embargo, enfrentan limitaciones en recursos y capacidad de implementación.

Las estrategias orientadas a la tecnología y la mejora en la planificación agrícola podrían ayudar a estabilizar el mercado, pero requieren una coordinación efectiva entre productores y distribuidores.

### Información Agropecuaria

De acuerdo con la información obtenida de las evaluaciones agropecuaria municipales EVA los principales cultivos del municipio de Sonsón para el año 2020 la cual es la última actualización disponible:

- Aguacate Hass: 3.800 hectáreas
- Café: 2.540 hectáreas
- Plátano En Asocio: 1.341 hectáreas
- Caña: 668 hectáreas
- Aguacate común: 650 hectáreas
- Lechuga: 380 hectáreas
- Palma De Aceite: 300 hectáreas
- Fríjol Voluble: 240 hectáreas
- Papa Criolla: 235 hectáreas

Los anteriores son los cultivos más representativos del municipio los cuales son una fuente de ingresos y empleo que contribuyen significativamente al sustento de las familias campesinas, así como al dinamismo de la economía rural. Además, la producción de estos cultivos fortalece la

identidad agrícola de Sonsón y su papel en el mercado regional, donde la calidad de sus productos es reconocida y valorada.

### Caracterización de pequeños y medianos productores agrícolas del municipio de Sonsón

Las personas encuestadas tienen edades comprendidas entre 18 y 72 años, nos permite identificar que la muestra cuenta con una amplia variedad de edades. En cuanto al género se identifica, que 69 personas son de género masculino correspondiente al 80.2% y 17 de las personas son mujeres que representan el 19.8%.

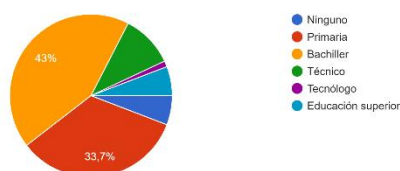
De las 86 personas el 43% son bachilleres, el 33.7% tienen un nivel educativo de solo primaria, el 5.8% cuentan con estudios de nivel superior, el 5.8% no cuentan con nivel educativo, el 5% son técnicos, el 1.2% son tecnólogos y el 5.5% no contestaron como se puede observar en la figura 1.

Los resultados de la encuesta muestran una amplia diversidad en cuanto a la edad de los participantes, abarcando un rango desde los 18 hasta los 72 años. Esto sugiere que la muestra representa tanto a productores jóvenes como a los de mayor experiencia, lo que puede influir en las perspectivas y prácticas agrícolas. En cuanto al género, se observa una notable predominancia masculina, con un 80.2% de los encuestados siendo hombres, lo cual podría indicar que la agricultura en el municipio de Sonsón sigue siendo una actividad mayormente dominada por hombres, con una menor participación femenina (19.8%).

**Figura 1**

Nivel de escolaridad

3. ¿Cuál es su nivel educativo?  
86 respuestas



**Nota:** Información obtenida de la herramienta de recolección

En la destinación de los ingresos percibidos por la venta de los productos (Figura 2) se puede identificar en las 86 personas encuestadas donde dieron más de una respuesta destinan de la siguiente manera los recursos:

- Sostenimiento del hogar 97.7%
- Pago de proveedores 79.1%
- Pago mano de obra 79.1%
- Pago de créditos 57%
- Pago de medicinas 54.7%
- Mejoramiento de vivienda 46.5%
- Ropa 38.4%,
- Ahorro 38.4%
- Estudio 29.1%
- Espacios de esparcimiento 17.4%
- Gastos en paseos 14%

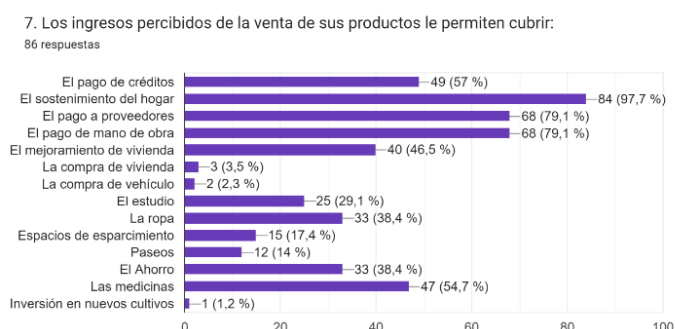
- Compra de vivienda 3.5%
- Compra de vehículo 2.3%
- Inversión en nuevos cultivos (1.2%).

La destinación de ingresos revela que los productores priorizan el sostenimiento del hogar, el pago de proveedores y mano de obra. Esto sugiere que la estabilidad económica y la operatividad diaria de las unidades productivas son las principales preocupaciones de estos agricultores.

Esta información permite identificar la necesidad de mejorar las condiciones económicas y de acceso a recursos de los pequeños y medianos productores para permitir un mayor enfoque en la inversión, ahorro, y mejoras en la calidad de vida, factores clave para la sostenibilidad y crecimiento del sector agrícola en Sonsón.

**Figura 2**

Destinación de los ingresos percibidos de las ganancias de sus productos



**Nota:** Información obtenida de la herramienta de recolección

El 61,6% de las personas encuestadas cultivan en predios propios, el 15,1% cultivan en compañía, el 11,6% cultivan en predios arrendados, el 10,5% en predio familiar.

La mayoría de los productores (61.6%) cultivan en predios propios, lo que les proporciona una mayor seguridad y control sobre sus actividades agrícolas, permitiéndoles planificar a largo plazo y realizar inversiones en sus tierras. Sin embargo, un 15.1% cultivan en compañía, lo que podría reflejar una estrategia de cooperación o recursos compartidos para maximizar la producción.

Por otro lado, el 11.6% que cultivan en predios arrendados y el 10.5% en predios familiares podrían enfrentarse a limitaciones en la toma de decisiones y en la capacidad de invertir en mejoras productivas, debido a la falta de propiedad plena sobre la tierra. Esta diversidad en la tenencia de la tierra sugiere una heterogeneidad en las condiciones de producción que podría influir en la capacidad de los productores para adoptar nuevas tecnologías o expandir sus cultivos.

Con respecto al valor que reciben por a la venta de sus productos la respuesta a si es justo el precio de venta con respecto al valor que paga el consumidor final respondieron:

Totalmente en desacuerdo (1): 20 personas  
 En desacuerdo (2): 10 personas  
 Neutral (3): 40 personas  
 De acuerdo (4): 13 personas  
 Totalmente de acuerdo (5): 2 personas  
 No respondió una persona.  
 Media: 2.87  
 Desviación estándar: Aproximadamente 1.26

La media de 2.87 y una desviación estándar de 1.26 indican una percepción predominantemente neutral sobre si el precio de venta de sus productos es justo en comparación con el valor que paga el consumidor final. Esta distribución sugiere que una parte significativa de los encuestados se siente insatisfecha con los precios que reciben, lo que podría reflejar problemas en la fijación de precios, márgenes de ganancia reducidos o una falta de poder de negociación en el mercado.

En cuanto a procesos de formación su respuesta fue:

Totalmente en desacuerdo (1): 11 personas  
 En desacuerdo (2): 11 personas  
 Neutral (3): 20 personas  
 De acuerdo (4): 11 personas  
 Totalmente de acuerdo (5): 30 personas  
 Media: 3.54  
 Desviación estándar: 1.13 Aproximadamente

Con una media de 3.54 y una desviación estándar de 1.13, las respuestas están algo equilibradas entre estar de acuerdo y en desacuerdo respecto a la participación en procesos de formación. Esto indica que mientras algunos productores están comprometidos con la formación continua, otros no tienen un acceso o interés similar. La variedad en las respuestas puede señalar la necesidad de mejorar el acceso a la formación y capacitación.

Con respecto a la opinión y experiencias que tienen sobre si el trabajo agrícola es rentable se obtiene las siguientes respuestas:

Totalmente en desacuerdo (1): 16 personas  
 En desacuerdo (2): 15 personas  
 Neutral (3): 29 personas  
 De acuerdo (4): 21 personas  
 Totalmente de acuerdo (5): 2 personas  
 Media: 2.95  
 Desviación estándar: Aproximadamente 1.23

La media de 2.95 y la desviación estándar de 1.23 sugieren una percepción predominantemente neutral hacia la rentabilidad del trabajo agrícola. Un número considerable de encuestados se muestra escéptico sobre la rentabilidad del sector, con un menor porcentaje de personas que consideran el trabajo agrícola como rentable. Esta percepción puede reflejar desafíos económicos y financieros que enfrentan los productores.

## Producción agrícola

Los resultados de la encuesta revelan la variedad de productos agrícolas que los productores del municipio de Sonsón cultivan para la comercialización siendo los más representativos entre ellos:

Café: 30.2%  
 Aguacate común: 12.8%  
 Gulupa: 11.6%  
 Cebollín: 9.3%  
 Aguacate Hass: 8.1%  
 Tomate de árbol: 7%  
 Banano criollo: 7%

El análisis de los datos muestra que el café es el producto más cultivado y comercializado, representando el 30.2% de la producción. Este dato subraya la importancia del café como cultivo predominante en la región, lo que puede estar asociado con su alta demanda en el mercado local y posiblemente en mercados internacionales.

El aguacate común y la gulupa ocupan el segundo y tercer lugar con 12.8% y 11.6% respectivamente. La significativa participación de estos productos sugiere una diversificación en la producción, lo cual podría ayudar a los productores a mitigar riesgos asociados con la dependencia de un solo cultivo y a satisfacer una variedad de demandas del mercado.

En cuanto a la cantidad producida encontramos entre los 60 y los 70.000 kilos este factor varía de acuerdo con el tamaño del cultivo, donde los cultivos de café y aguacate son los que más alta cantidad producen.

Al indagar sobre las causas de las pérdidas de sus cultivos, las respuestas de los encuestados fueron:

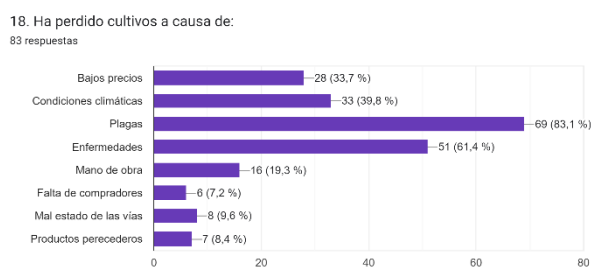
Plagas 83.1%  
 Enfermedades 61.4%  
 Condiciones climáticas 39.8%,  
 Bajos precios 33.7%  
 Falta de mano de obra 19.3%  
 Mal estado de la vía 9.6%,  
 Productos perecederos 8.4%  
 Falta de compradores el 7.2%. (Figura 7)

La alta incidencia de plagas (83.1%) y enfermedades (61.4%) como principales causas de pérdida de cultivos subraya la necesidad urgente de estrategias de manejo integrado de plagas y enfermedades. Estos factores biológicos afectan directamente la producción y la calidad de los cultivos, indicando que los productores podrían beneficiarse de formación y recursos adicionales en técnicas de control biológico y protección de cultivos.

Las condiciones climáticas (39.8%) y los bajos precios (33.7%) también son causas significativas de pérdidas. Esto refleja la vulnerabilidad de la producción agrícola a las variaciones del clima y a las fluctuaciones del mercado. Los productores podrían necesitar apoyo en la adaptación a cambios climáticos y en la estabilización de precios, posiblemente a través de seguros agrícolas y contratos de venta.



**Figura 3**  
Causas de las pérdidas de los cultivos



**Nota:** Información obtenida de la herramienta de recolección

De las 86 personas encuestadas tienen acceso a asesoría técnica 32 personas (72.1%) las cuales las reciben a través de:

- 40.3%** Persona particular, pagada con recursos propios
- 21%** Vendedores de insumos.
- 21%** Alcaldía, oficina de SARYMA.
- 14.5%** Federación de Caficultores de Antioquia.
- 3.2%** Comercializadoras.

El alto porcentaje de productores que reciben asesoría técnica sugiere un marco de apoyo que podría ser optimizado para mejorar aún más. Sin embargo, la variabilidad en las fuentes de asesoría implica que podría haber una falta de estandarización en la calidad del asesoramiento recibido. Además, la dependencia en fuentes individuales y vendedores de insumos puede limitar la diversidad de conocimientos y enfoques disponibles para los productores, lo cual podría representar riesgos.

### Transporte

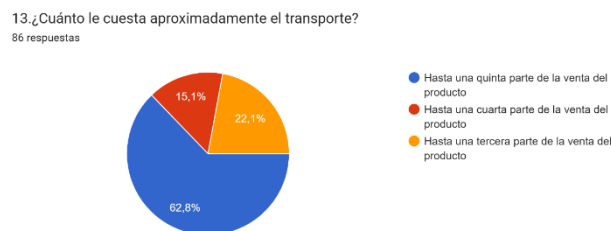
En este aspecto se puede identificar que el costo aproximado del transporte (Figura 4) de los productos agrícolas de acuerdo con los entrevistados es:

- 62.8%:** Hasta una quinta parte del valor de la venta del producto.
- 22.1%:** Hasta una tercera parte del valor de la venta del producto.
- 15.1%:** Hasta una cuarta parte del valor de la venta del producto.

El 62.8% de los encuestados indica que el costo del transporte representa hasta una quinta parte del valor de la venta de sus productos, lo que refleja una carga significativa para los productores.

Solo 22.1% enfrenta un costo que representa hasta una tercera parte de la venta, y 15.1% enfrenta hasta una cuarta parte del valor de la venta. Estos costos pueden impactar la rentabilidad general y sugieren la necesidad de estrategias para optimizar o reducir los gastos asociados al rubro del transporte.

**Figura 4**  
Costo aproximado del transporte de los productos agrícolas



**Nota:** Información obtenida de la herramienta de recolección

En cuanto a logística los resultados obtenidos se clasifican de la siguiente manera:

- 68.6%:** Transportan sus productos en vehículo contratado.
- 17.4%:** Poseen vehículo propio para el transporte.
- 4.7%:** Usan animales de carga.
- 4.7%:** Compran el transporte en el predio.
- 1.2%:** Transportan los productos personalmente.

La mayoría de los productores, 68.6%, utiliza vehículos contratados para el transporte de sus productos, lo que puede implicar costos adicionales y dependencia de terceros. La opción de poseer un vehículo propio es utilizada por 17.4% de los encuestados, lo cual ofrece mayor autonomía, pero también requiere inversión y mantenimiento. Un pequeño porcentaje usa animales de carga o compran el transporte en el predio, lo que puede limitar la capacidad de transporte o reflejar restricciones en el acceso a recursos adecuados. Solo el 1.2% transporta los productos personalmente, lo que puede ser un indicativo de producción a pequeña escala o de esfuerzos individuales significativos.

La frecuencia de la falta de transporte como motivo para no vender se obtuvieron las siguientes respuestas en una escala de Likert donde 1 es pocas veces y 5 muchas veces:

- 68 personas (79.1%):** Calificaron con un 1 (Pocas veces).
- 8 personas (9.3%):** Calificaron con un 2 (Muy pocas veces).
- 6 personas (7%):** Calificaron con un 3 (Algunas veces).
- 3 personas (3.5%):** Calificaron con un 4 (Varias veces).
- 1 persona (1.2%):** Calificó con un 5 (Muchas veces).

La mayoría de los encuestados (79.1%) indicó que la falta de transporte es un problema pocas veces. Esto sugiere que el transporte, aunque no es un problema recurrente para la mayoría, sigue siendo una preocupación para algunos productores. Solo un pequeño número de personas (1.2%) reporta que la falta de transporte es un problema frecuente, lo que puede indicar la existencia de soluciones alternativas o un sistema de transporte relativamente estable para la mayoría.

En cuanto al daño de los Productos Durante el Transporte se obtuvo la siguiente calificación en una escala Likert donde 1 representa pocas veces y 5 muchas veces:

- 58 personas (67.4%):** Calificaron con un 1 (Pocas veces).
- 13 personas (15.1%):** Calificaron con un 2 (Muy pocas veces).
- 8 personas (9.3%):** Calificaron con un 3 (Algunas veces).
- 5 personas (5.8%):** Calificaron con un 4 (Varias veces).

La mayoría de los productores (67.4%) reporta que el daño de los productos durante el transporte ocurre pocas veces, lo que indica que, en general, el transporte es manejado de manera efectiva y con cuidado. Sin embargo, un porcentaje menor (15.1%) experimenta daños muy pocas veces y 9.3% experimenta daños algunas veces. Estos datos sugieren que, aunque el daño no es una preocupación predominante, aún existen oportunidades para mejorar las prácticas de transporte y manipulación para minimizar el deterioro de los productos.

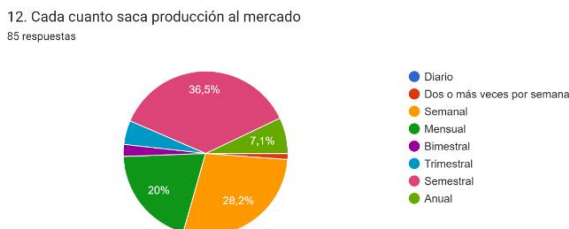
### Comercialización

Podemos observar en la figura 5 la periodicidad con la que los productos son llevados al mercado:

- Semestralmente el 36.5%
- Semanalmente 28.2%
- Mensualmente 20%
- Anualmente 7.1%
- Trimestralmente 4.7%
- Bimestralmente 2.4%
- Dos o más veces por semana el 1.2%.

la periodicidad con la que los productos son llevados al mercado varía ampliamente entre los productores, lo que refleja una combinación de factores relacionados con la producción, la demanda del mercado, y las capacidades logísticas. Esta variabilidad debe ser considerada al desarrollar estrategias para mejorar la eficiencia en la comercialización y la gestión de productos agrícolas.

**Figura 5**  
*Periodicidad de los tiempos de distribución y comercialización de los productos agrícolas*



**Nota:** Información obtenida de la herramienta de recolección

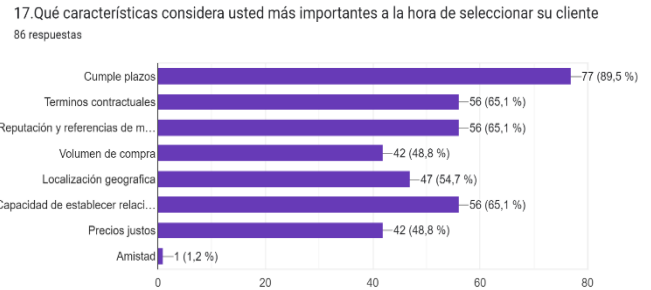
Como se observa en la figura 6 las características más importantes para los encuestados al seleccionar sus clientes son:

- Cumplimiento de plazos: 89.5%
- Términos contractuales: 65.1%
- Reputación y referencias en el mercado: 65.1%
- Capacidad de establecer relaciones a largo plazo: 65.1%
- Localización geográfica: 54.7%
- Volumen de compra: 48.8%
- Precios justos: 48.8%
- Amistad: 1.2%

La información obtenida sugiere que los productores priorizan aspectos prácticos y contractuales en la selección de clientes, con un énfasis significativo en el cumplimiento de plazos y términos claros. Las características como la reputación, la

capacidad de establecer relaciones a largo plazo y la localización geográfica también juegan un papel crucial, aunque con menor impacto que la fiabilidad y la puntualidad.

**Figura 6**  
*Características que consideran más importantes los productores al momento de seleccionar sus clientes:*



**Nota:** Información obtenida de la herramienta de recolección

De acuerdo con los datos obtenidos sobre la cantidad de clientes de los encuestados para sus productos:

- Un solo cliente: 61.2%
- Entre 2 y 3 clientes: 34.1%
- Más de 5 clientes: 3.5%
- Entre 4 y 5 clientes: 1.2%

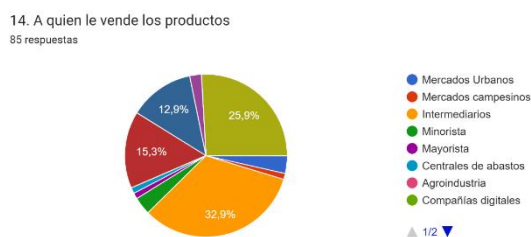
La información revela una alta concentración en la base de clientes entre los productores encuestados, con una mayoría dependiendo de un solo cliente para sus ingresos. Esta dependencia puede ser riesgosa y podría limitar el crecimiento y la estabilidad financiera de los productores. La diversificación, aunque ligeramente mejor en aquellos con 2 o 3 clientes, sigue siendo baja en comparación con las mejores prácticas de mercado.

De acuerdo con las personas encuestadas, los productos son vendidos a través de los siguientes canales como se observa en la figura 7:

- Intermediarios: 32.9%
- Federación de Caficultores de Antioquia: 25.9%
- Compradores directos: 15.3%
- Comercializadoras nacionales: 12.9%
- Mercados urbanos: 3.5%
- Minoristas: 3.5%
- Comercializadoras internacionales: 2.4%
- Central de abastos: 1.2%
- Mayoristas: 1.2%
- Mercados campesinos: 1.2%

La alta dependencia de intermediarios y de la Federación de Caficultores de Antioquia en la venta de productos sugiere que los productores podrían beneficiarse de estrategias que diversifiquen sus canales de comercialización. Explorar y fortalecer relaciones con otros mercados, como comercializadoras internacionales o mercados urbanos, podría proporcionar mayores oportunidades de ganancias y reducir la vulnerabilidad a las fluctuaciones del mercado controladas por intermediarios. Además, incrementar la venta directa o a través de cooperativas podría mejorar la posición negociadora de los productores, incrementando sus márgenes de ganancia.

**Figura 7**  
*Compradores de los productos agrícolas*



**Nota:** Información obtenida de la herramienta de recolección.

Al preguntar sobre la diferenciación en los empaques de sus productos, los encuestados respondieron como se observa en la figura 8.:

No cuentan con empaque diferenciado: 89.4%

Sí cuentan con empaque diferenciado: 10.6%

La baja tasa de diferenciación en los empaques entre los productores encuestados revela una oportunidad significativa para mejorar la competitividad en el mercado. Al implementar empaques diferenciados, los productores podrían no solo mejorar la percepción de sus productos, sino también abrirse a nuevos mercados y aumentar su rentabilidad. La diferenciación en el empaque es una estrategia clave que puede contribuir al posicionamiento de marca, y su escasa adopción actual destaca un área crítica que necesita atención para mejorar el éxito comercial de estos productores.

**Figura 8**  
*Empaques de los productos*



**Nota:** Información obtenida de la herramienta de recolección.

El 91,9% de los encuestados no tienen datos de contacto en el empaque de sus productos, mientras el 8,1% sí cuentan con dicha información.

### Asociatividad

Entre las 86 personas encuestadas sólo el 8,1% (7 personas), pertenece a una asociación, el 91,9%, no están asociados. Igualmente, de estas asociaciones solo una procesa los productos agregándole elementos de valor a los mismos.

Los resultados obtenidos en el estudio a los pequeños y medianos productores agrícolas del municipio de Sonsón contrastan significativamente con los hallazgos reportados por Buenhombre Vázquez y Mariño Becerra (2022) en su

investigación sobre la asociatividad en el cultivo de guayaba en Vélez, Santander. Mientras que en Vélez se observaron impactos positivos como el acceso a nuevos mercados, la mejora en tecnologías de producción, el aumento de la producción, y una mayor capacidad y poder de negociación, en Sonsón la situación es muy distinta.

De los 86 productores encuestados, solo 7 pertenecen a alguna asociación, lo que indica una escasa cultura de asociatividad en la región. Este bajo nivel de participación en asociaciones podría estar limitando el acceso a los beneficios que la asociatividad ofrece, tales como los mencionados en el estudio de Vélez. Por lo tanto, es necesario abordar las barreras que impiden la participación de los productores de Sonsón en asociaciones, para que puedan aprovechar estas ventajas competitivas y mejorar su productividad.

La baja asociatividad identificada en este estudio sugiere una ausencia de estructuras organizativas sólidas que podrían facilitar la negociación colectiva, el acceso a recursos compartidos y una mayor capacidad de respuesta a las demandas del mercado. Por otro lado, la falta de valor agregado en los productos refleja una dependencia a la comercialización de materias primas, lo que deja a los productores vulnerables a las fluctuaciones de precios y a una limitada competitividad en mercados más sofisticados.

El municipio de Sonsón cuenta con 9 asociaciones con un total de 306 asociados lo cual muestra la baja asociatividad con la que cuenta el municipio lo cual afecta el poder de negociación de los pequeños y medianos productores del municipio. Entre las asociaciones mencionadas solo una realiza proceso de transformación de sus productos.

En este contexto, es fundamental interpretar cómo estos factores limitan el desarrollo económico de los productores de Sonsón y qué estrategias podrían implementarse para superar estos desafíos, mejorando así su capacidad de integración en cadenas de valor más complejas y lucrativas.

### Financiación

Adicionalmente dentro de la investigación teórica se investigaron las estadísticas de (Finagro, 2023) donde al filtrar la información se obtiene que el municipio de Sonsón entre enero 2023 y diciembre 2023 contó con de 635 créditos de sexto a nivel departamental, lo que contribuye significativamente al desarrollo, innovación y tecnología como podemos observar en la figura 9; el acceso a créditos para financiar los proyectos agrícolas es esencial para el desarrollo sostenible de la agricultura, la implementación de tecnología, el bienestar de los pequeños y medianos productores, así como para la seguridad alimentaria a nivel local y global.

El acceso a la financiación se convierte en un aliado estratégico para lograr innovar y agregar elementos de valor a sus productos, accediendo a mercados más grandes y estables.

**Figura 9**  
Principales créditos de Finagro en Antioquia

Municipio	Creditos	Valor
MEDELLÍN	880	134.479.752.544
ANDES	856	21.127.237.620
TURBO	765	17.164.836.352
MARINILLA	668	10.418.846.492
BETULIA	660	14.927.762.810
SONSÓN	635	21.188.746.798

**Nota:** Información adaptada de las estadísticas de Finagro 2023

### 5. CONCLUSIONES

El presente estudio ofrece una visión integral del contexto agrícola y los desafíos comerciales que enfrentan los pequeños y medianos productores en el municipio de Sonsón. A través del análisis de variables demográficas, educativas, económicas y productivas, se ha delineado un panorama detallado que resalta tanto las fortalezas como las debilidades de la región.

La riqueza agrícola de Sonsón, potenciada por su diversidad en pisos térmicos, lo posiciona como un actor clave en la economía del Oriente Antioqueño. Sin embargo, los retos identificados, como la baja asociatividad y la falta de valor agregado en los productos, subrayan la necesidad de adoptar modelos de comercialización y distribución innovadores que no solo respondan a las particularidades del municipio, sino que también impulsen su sostenibilidad y competitividad en el mercado.

Esta investigación no solo busca contribuir al entendimiento de la realidad agropecuaria local, sino que también sienta las bases para futuras estrategias que fortalezcan el sector y promuevan el desarrollo integral de la región

El estudio realizado en el municipio de Sonsón ha revelado una diversidad de desafíos y características de los pequeños y medianos productores agrícolas. La baja asociatividad, la dependencia de intermediarios, y la falta de valor agregado en los productos son barreras clave que limitan la competitividad y rentabilidad de estos productores.

La periodicidad de la comercialización varía considerablemente, lo que sugiere la necesidad de una mejor coordinación y planificación para optimizar la venta de productos agrícolas. En resumen, mejorar la cooperación entre los actores involucrados, invertir en capacitación técnica y tecnológica, y fortalecer la infraestructura y acceso a mercados son acciones esenciales para superar los desafíos identificados y promover un desarrollo agrícola sostenible en Sonsón.

Con base en la información recolectada a los pequeños y medianos productores entrevistados en el municipio de Sonsón los autores plantean el siguiente modelo de comercialización el cual busca de agregar valor a sus productos, generar oportunidades de comercialización, mejorar los ingresos de los productores e impactar la calidad de vida.

**Figura 10**  
Modelo de comercialización para pequeños y medianos productores agrícolas



**Nota:** Creación propia

### AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sincero agradecimiento a la Institución Universitaria Digital de Antioquia por el apoyo financiero que hizo posible la realización de este proyecto. Su compromiso con la educación y la investigación ha sido fundamental para alcanzar nuestros objetivos.

También extienden un profundo agradecimiento a los docentes Ana Cristina Herrera, Jacqueline Castaño Duque y Amhed Cardona Mesa por su invaluable orientación, dedicación y asesoramiento en realización de este proyecto, sus conocimientos, experiencia y orientación fueron esenciales para el éxito de este.

Agradecen haber contado con el respaldo y la colaboración de estas personas y de la institución, cuya contribución ha sido fundamental en el desarrollo y culminación de este trabajo.

### REFERENCIAS

Acevedo González, G. A & Munera Ramírez, R. D. (2020) Aproximación a un sistema asociativo de comercialización para productos agrarios de pequeños y medianos productores. <http://www.scielo.org.co/pdf/rlsi/v17n2/1794-4449-rlsi-17-02-162.pdf>

Agencia de Desarrollo Rural (2024). Comercialización. <https://www.adr.gov.co/atencion-y-servicios-a-la-ciudadania/comercializacion/>

Alcaldía de Sonsón (2024). Plan de desarrollo municipal 2024-2027, Juntos superando retos. <https://www.sonson-antioquia.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/PLAN%20DE%20DESARROLLO%20TERRITORIAL%20SONSÓN%20C3%93N%20ANTIOQUIA%202024%20-%202027.pdf>

- ASENRED (2023). La Agricultura, principal actividad económica de Sonsón. <https://www.asenred.com/la-agricultura-principal-actividad-economica-de-sonson/>
- Álvarez Estupiñán, J., Cárdenas Herrera, J. S. & Santamaria Mora, A. M. (2023). Evaluación financiera para la comercialización de productos agrícolas por medio de un Marketplace en Colombia. [https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/18262/1/TE\\_GF\\_Estupi% c3% b1anJackeline-C% c3% a1rdenasJuan-SantamariaAna\\_2023](https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/18262/1/TE_GF_Estupi%c3%b1anJackeline-C%c3%a1rdenasJuan-SantamariaAna_2023)
- Bernal Ángel, A. J. , García Ardila, J. D. & Rodríguez Guerrero, J. C. (2023). Modelo para comercialización de productos agrícolas en el municipio de Anolaima mediante Sistemas de Información Geográfica. <https://repository.universidadean.edu.co/bitstream/handle/10882/13025/BernalAlvaro2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Buenhombre Vasquez, M. A. & Mariño Becerra, G. Y. (2022). Asociatividad como estrategia de productividad y competitividad del sector Agrícola. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.27.98.15>
- Cámara de comercio del oriente antioqueño (2022). Concepto económico 2022. <https://coa.org.co/wp-content/uploads/2023/01/Concepto-Economico-2022-.pdf>
- Cano Agudelo, L. & Gutiérrez Osorio, J. (2020). Análisis del potencial agropecuario en Colombia: un enfoque desde las cadenas globales de valor. <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/6138/an% c3% a1lisis% 20del% 20potencial% 20agropecuario% 20en% 20Colombia.pdf?sequence=1>
- Congreso de Colombia (2020). Ley 2046 del 6 de agosto de 2020. <https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Leyes/LEY% 202046% 20DEL% 206% 20DE% 20AGOSTO% 20DE% 202020.pdf>
- Cruz Cárdenas, L (2021). Intermediarios y volatilidad de precios, problemas de nunca acabar del agro colombiano. Sociedad y vida de la Universidad de Antioquia. [https://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/udea-noticias/udea-noticia!/ut/p/z0/fYy9DsIwEINfhaUjulBKgLFiQEIMDAi1t6AjidqDNtefgHh8WhgQC4tlf7INCBmgpwcXFFg8VUPOUZ9X6008SxO1VzrRktWHZLGMt\\_PjScEO8H9heOBr22IKaMQH9wyQNdfQu7WUaSo\\_021107jR514CWyY-ki9156tjK0v7sWws2QHWnQyNVJfWGC5ob5C9oj2kQ/!](https://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/udea-noticias/udea-noticia!/ut/p/z0/fYy9DsIwEINfhaUjulBKgLFiQEIMDAi1t6AjidqDNtefgHh8WhgQC4tlf7INCBmgpwcXFFg8VUPOUZ9X6008SxO1VzrRktWHZLGMt_PjScEO8H9heOBr22IKaMQH9wyQNdfQu7WUaSo_021107jR514CWyY-ki9156tjK0v7sWws2QHWnQyNVJfWGC5ob5C9oj2kQ/)
- Díaz Jiménez, M. A. , Quintanilla Ortiz, D. A. & Sandoval Alarcón, J. D. (2020). La Economía Solidaria En Colombia: Una Revisión Conceptual, Económica Y Normativa. Revista Facultad De Ciencias Contables Económicas Y Administrativas -FACCEA, 10(1), 62–82. <https://editorial.uniamazonia.edu.co/index.php/faccea/article/view/476/479>
- Departamento de Planeación Nacional (2021). Colombia tiene nueva política pública para el desarrollo de la economía solidaria. [https://www.dnp.gov.co/Prensa\\_/Noticias/Paginas/colombia-tiene-nueva-politica-publica-para-el-desarrollo-de-la-economia-solidaria.aspx](https://www.dnp.gov.co/Prensa_/Noticias/Paginas/colombia-tiene-nueva-politica-publica-para-el-desarrollo-de-la-economia-solidaria.aspx)
- Departamento de Planeación Nacional (2024). Terridata, Sonsón Antioquia. <https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/05756>
- FAO (2023). World Food Forum: Bridging technological gaps in Low- and Middle-Income Countries and Small Island Developing States. <https://www.fao.org/newsroom/detail/world-food-forum--bridging-technological-gaps-in-low--and-middle-income-countries-and-small-island-developing-states/en>
- Farfán Torres, C. V. & García Páez, J. A. (2023). Barreras existentes para el acceso a las alternativas de financiación para proyectos de emprendimiento y pequeñas empresas relacionadas con el sector agro en Colombia. <https://repository.universidadean.edu.co/bitstream/handle/10882/13377/Garc% c3% adaJaime2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Finagro (2023). Crédito por Departamento – Municipio. <https://www.finagro.com.co/estadisticas/informes>
- Gobernación de Antioquia. (2020). Plan desarrollo Unidos por la Vida 2018-2022. [https://plandesarrollo.antioquia.gov.co/archivo/PlanDesarrolloUNIDOS\\_VF-comprimido-min.pdf](https://plandesarrollo.antioquia.gov.co/archivo/PlanDesarrolloUNIDOS_VF-comprimido-min.pdf)
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2020). Evaluaciones Agropecuarias Municipales EVA . [https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-Agropecuarias-Municipales-EVA/2pnw-mmge/about\\_data](https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-Agropecuarias-Municipales-EVA/2pnw-mmge/about_data)
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2022). Alianzas productivas para la vida. <https://www.minagricultura.gov.co/tramites-servicios/desarrollo-rural/Paginas/Proyecto-apoyo-a-alianzas-productivas-PAAP-.aspx>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, (2022). Evaluación de impacto y operaciones proyecto apoyo a alianzas productivas. [https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Sinergia/Documentos/Eval\\_Impacto\\_Operaciones\\_ProyectoApoyoAlianzas\\_Productivas\\_PAAP\\_Resumen\\_ejecutivo.pdf](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Sinergia/Documentos/Eval_Impacto_Operaciones_ProyectoApoyoAlianzas_Productivas_PAAP_Resumen_ejecutivo.pdf)
- Murillo Salamanca, V. M. & Chaparro Barrera, C. F. (2023). Implementación de tecnologías en comercialización de productos agrícolas en pequeños y medianos productores. [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/pensamiento\\_accion/article/view/15955/13893](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/pensamiento_accion/article/view/15955/13893)

OCDE/FAO (2023). Perspectivas Agrícolas de la OCDE-FAO 2023-2032. [https://www.agri-outlook.org/documents/AgriOutlook23\\_%20ExecSum\\_ES.pdf](https://www.agri-outlook.org/documents/AgriOutlook23_%20ExecSum_ES.pdf)

Palomino Flórez, J.F. (2022). Diseño de un modelo de negocio para la comercialización digital de productos agrícolas y agroindustriales entre productores y consumidores finales. <https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/b68e745f-3071-4fcf-9cc5-581b4150f5af/content>

Perfetti, J. J., Leibovich, J., Delgado, M. & López, E.(2024). Informe final de la tierra para uso agropecuario en Colombia: Equidad y productividad. <https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/4542>

Piedra, J. A. M., & Manqueros, J. M. C. (2021). El muestreo y su relación con el diseño metodológico de la investigación. Manual de temas nodales de la investigación cuantitativa. Un abordaje didáctico, 81. <https://centro-investigacion-innovacion-educativa.bravesites.com/files/documents/306aa3ba-3be8-4e59-ab4d-51508f7513c6.pdf#page=82>

Sánchez R (2021). El tema de validez de contenido en la educación y la propuesta de Hernández-Nieto. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8358273>

Gallego Tavera, S. Y., Polo Salcedo, A. L., & Gómez Ospina, P. A. (2020). Importancia de la Innovación en el contexto académico, tecnológico y en el desarrollo regional. *Revista Innovación Digital Y Desarrollo Sostenible - IDS*, 1(1), 84 - 97. <https://doi.org/10.47185/27113760.v1n1.11>

# Valoración Económica De Los Servicios Ecosistémicos Que Proveen Los Humedales Del Área Urbana Del Municipio De Valledupar, Cesar

Alex Manuel Díaz López<sup>1</sup>, Wendy Paola Escobar Vanegas<sup>1</sup>, Karina Paola Torres Cervera<sup>1(\*)</sup>, Paul Klement Arias Ruidíaz<sup>1</sup>, Pedro Juan Torres Flores<sup>1</sup>

*1Universidad Popular del Cesar, Facultad de Ingenierías y Tecnológicas, Valledupar, Colombia*

**Resumen:** En este estudio se realizó una valoración exhaustiva de los servicios ecosistémicos de los humedales urbanos de Valledupar, Cesar, mediante la ejecución de dos encuestas (piloto y definitiva) aplicadas a 385 residentes, con el objetivo de determinar la disposición a pagar (DAP) por su conservación. Los hallazgos clave incluyen una estimación del DAP que asciende a \$65.077,53 por habitante, lo cual refleja una alta valoración del impacto ambiental en relación con el componente social comunitario y la relevancia de estos ecosistemas. Los resultados demuestran un compromiso significativo de la población hacia la protección ambiental, con un 70% de los encuestados reconociendo los beneficios de los humedales y un 67% conscientes de su papel crucial en la regulación climática. La conclusión principal subraya la urgencia de implementar un plan de manejo ambiental integral, dirigido a mejorar las condiciones hidrológicas y conservar la biodiversidad, destacando la importancia de los humedales no solo para el equilibrio ecológico, sino también para la preservación del patrimonio cultural e histórico de la región.

**Palabras clave:** Valoración de servicios ecosistémicos, Humedales urbanos, Disposición a pagar (DAP), Plan de Manejo Ambiental.

Recibido: 15 de mayo de 2024. Aceptado: 2 de septiembre de 2024

Received: May 15th, 2024. Accepted: September 2nd, 2024

# Economic Valuation Of The Environmental Services Provided By The Wetlands In The Urban Area Of The Municipality Of Valledupar, Cesar

**Abstract:** In this study, a comprehensive assessment of the ecosystem services provided by the urban wetlands of Valledupar, Cesar, was conducted through the implementation of two surveys (pilot and final) administered to 385 residents, with the aim of determining the willingness to pay (WTP) for their conservation. Key findings include an estimated WTP of \$65,077.53 per inhabitant, reflecting a high valuation of the environmental impact in relation to the community's social component and the relevance of these ecosystems. The results demonstrate a significant commitment from the population towards environmental protection, with 70% of respondents recognizing the benefits of wetlands and 67% aware of their crucial role in climate regulation. The main conclusion underscores the urgency of implementing a comprehensive environmental management plan focused on improving hydrological conditions and conserving biodiversity, highlighting the importance of wetlands not only for ecological balance but also for the preservation of the region's cultural and historical heritage.

**Keywords:** Valuation of Ecosystem Services, Urban wetlands, Willingness to pay (WTP), Environmental management plan.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los humedales ubicados en el área urbana del municipio de Valledupar, Cesar, representan ecosistemas de vital importancia para la región, desempeñando funciones críticas en la regulación climática, el control de inundaciones, la conservación de la biodiversidad, y la preservación del patrimonio histórico y cultural. Profundamente arraigados en la historia y el desarrollo socioeconómico de Valledupar, estos humedales han sido testigos y actores clave en la configuración de la identidad local. A nivel global, los humedales son reconocidos por su capacidad para actuar como amortiguadores naturales frente a eventos climáticos extremos y por su papel en la filtración y purificación del agua (Meli et al., 2014; Delle y Gill, 2022). Sin embargo, enfrentan retos significativos derivados de las crecientes intervenciones humanas y el acelerado avance urbano, lo que ha resultado en una alarmante disminución de su extensión y en una preocupante degradación de su calidad ambiental.

Esta tendencia de degradación no es exclusiva de Valledupar, sino que se alinea con un patrón más amplio observado en América Latina, donde los humedales urbanos están siendo severamente impactados por la urbanización descontrolada, la falta de planificación ambiental adecuada y la disposición inadecuada de residuos. Estudios en diversas ciudades de la región han documentado la pérdida progresiva de estos ecosistemas y la disminución de su capacidad para proveer servicios ecosistémicos esenciales, lo que subraya la urgencia de adoptar medidas de conservación más estrictas y efectivas.

La necesidad urgente de abordar estos desafíos se ve acentuada por la notable falta de información actualizada y la dificultad para acceder a datos relevantes, situación que subraya la urgencia de este estudio. A pesar de estas limitaciones, la investigación se ha fortalecido a través de la colaboración con profesionales y expertos locales, quienes han facilitado el acceso a información crucial y han aportado valiosas percepciones sobre el terreno. Estudios recientes han mostrado que la pérdida y degradación de humedales urbanos puede tener repercusiones severas en la biodiversidad y en la capacidad de las ciudades para adaptarse al cambio climático, lo que hace esencial su conservación. Este esfuerzo no solo busca llenar vacíos de conocimiento, sino también concienciar a la sociedad civil y a las autoridades locales sobre la importancia crítica de estos ecosistemas en el contexto urbano de Valledupar.

La valoración económica de los servicios ecosistémicos que proveen los humedales ha sido un enfoque clave en estudios previos, como el de Pulido L. (2021), quien aplicó metodologías de valoración económica para subrayar la importancia de conservar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en el Humedal El Burro. De manera complementaria, Tibaquirá (2021) vinculó la valoración económica del Humedal Jaboque con la preservación de la Tingua Bogotana, logrando estimar un valor monetario significativo que refleja la disposición a pagar de la comunidad.

Flórez et al. (2020) expandieron este campo de trabajo en los humedales altoandinos, aplicando diversas metodologías de valoración, lo que evidenció la importancia de una adecuada selección metodológica para la conservación de estos ecosistemas. Cadena et al. (2019) y Gélvez (2018) también han contribuido significativamente al entendimiento de la valoración económica de los servicios ecosistémicos, enfocándose en humedales específicos de Bogotá, y resaltando la necesidad de estrategias de conservación efectivas basadas en un profundo entendimiento de su valor económico y ecológico.

En este contexto, la presente investigación se distingue por documentar y analizar la situación actual y la importancia histórica de los humedales en Valledupar, con el fin de formular estrategias para la gestión ambiental que reconozcan y refuercen el papel de estos ecosistemas en la sostenibilidad urbana. Además, investigaciones han mostrado que los humedales, cuando están bien gestionados, pueden mejorar significativamente la resiliencia urbana, reducir los costos de infraestructura en control de inundaciones y proveer espacios verdes cruciales para el bienestar humano. A través de la identificación de los valores económicos, culturales y ambientales que la comunidad asocia con estos espacios naturales, se busca abrir un camino hacia la conservación efectiva de los humedales, fundamentado en la participación de la ciudadanía y el compromiso de las autoridades locales.

Este estudio tiene como objetivos la caracterización de los humedales Sicarare, El Eneal, Maria Camila y El Edén, comparando sus estados en periodos de sus máximos históricos registrados existentes. Además, se propone realizar una valoración contingente para determinar la disposición de la comunidad a pagar por la conservación de estos ecosistemas, y finalmente, formular medidas concretas de conservación que aseguren la protección y sostenibilidad de estos humedales para las futuras generaciones. Estas acciones son esenciales para preservar el equilibrio ecológico y el bienestar de la comunidad, destacando el rol fundamental que los humedales juegan en la identidad y el desarrollo sostenible de Valledupar.

## 2. MARCO TEÓRICO

La valoración económica de los servicios ecosistémicos de los humedales ha emergido como un campo crítico de estudio para entender y cuantificar el valor que estos ecosistemas aportan al bienestar humano y al desarrollo sostenible.

Teóricamente la valoración económica ambiental se soporta en la necesidad de tener una cuantificación comprensible de los servicios ecosistémicos, que han sido estudiados por la FAO y la Clasificación Internacional Común de los Servicios de los Ecosistemas (CICES) de la EEA. La metodología de valoración económica ambiental, tanto por preferencias reveladas como declaradas, proporciona las herramientas necesarias para cuantificar el valor de bienestar que los humedales aportan a las comunidades humanas.



El Decreto 2041 de 2014, que define el Plan de Manejo Ambiental, y la convención de Ramsar subrayan la necesidad de un enfoque sistemático y basado en evidencia para la conservación de los humedales. La clasificación y estructura de los humedales, tal como la describen Moreno, García, y Villalba (1989), así como García (2001), ofrecen una base para entender su complejidad y diseñar intervenciones de manejo y conservación adecuadas.

La convergencia de estos estudios y marcos teóricos refleja un campo de investigación dinámico y en evolución, que subraya la importancia crítica de los humedales y la necesidad de integrar consideraciones económicas en su conservación y manejo.

La valoración económica emerge como una herramienta indispensable para la toma de decisiones informada, apoyando esfuerzos de conservación que no solo protegen la biodiversidad, sino que también aseguran el bienestar de las comunidades humanas dependientes de estos ecosistemas vitales.

### 3. METODOLOGÍA

Este estudio se enmarca en la línea de investigación denominada "Sostenibilidad y Gestión Ambiental", específicamente en la sublínea de gestión integral de la biodiversidad y patrimonio ambiental, con un enfoque en la valoración y uso de recursos naturales. Estas áreas temáticas han sido formalmente adoptadas según el Acuerdo No. 003 del 8 de julio de 2021, emitido por el Concejo de la Facultad de Ingenierías y Tecnológica de la Universidad Popular del Cesar (UNICESAR). El enfoque metodológico adoptado es cuantitativo y correlacional, con el propósito de analizar la relación entre variables mediante la aplicación de encuestas dirigidas a la población de Valledupar, la cual asciende a 459.349 habitantes, según el censo del DANE de 2018.

El estudio se apoya en un enfoque cuantitativo que incluye la aplicación de encuestas y el análisis de modelos econométricos, complementado por revisiones bibliográficas y estudios de campo. Esto permite una comprensión integral de la disposición de la comunidad local hacia la conservación de los ecosistemas de humedales. Mediante este enfoque, se busca determinar la valoración económica que los residentes de Valledupar otorgan a los servicios ecosistémicos proporcionados por estos humedales, y, a su vez, identificar estrategias efectivas de manejo ambiental que promuevan su sostenibilidad a largo plazo. La investigación enfatiza la necesidad de un compromiso colectivo para la protección de estos humedales, dada su importancia para el equilibrio ecológico y la calidad de vida en la región.

La población de estudio comprende los servicios ecosistémicos para la biodiversidad de los humedales, que han sido identificados y clasificados en 98 tipos, incluyendo servicios de aprovisionamiento, regulación, apoyo y cultural, conforme a la Clasificación Internacional Común de los Servicios de los Ecosistemas (CICES) y la FAO.

La metodología del estudio abarca varias etapas clave:

*Caracterización del medio ambiente y factores antrópicos:* Esta etapa incluye una revisión bibliográfica con solicitudes de información a entidades como la Secretaría de Ambiente, Desarrollo Económico y Turismo de Valledupar, CORPOCESAR e IGAC. Además, se realiza un análisis geográfico utilizando herramientas como ArcGIS, ampliamente reconocido en el ámbito tecnológico ambiental por su capacidad para producir cartografías de alta precisión, empleando como insumo información digital proveniente de "Colombia en Mapas" del IGAC. La identificación de aspectos e impactos ambientales se lleva a cabo siguiendo la metodología de Arboleda (2008) y la aplicada por la Empresa Pública de Medellín – EPM.

*Determinación de la disposición de pago voluntario:* Esta fase se desarrolla mediante la construcción y aplicación de un instrumento de encuesta piloto, seguido de un instrumento definitivo, el cual se compone de variables cuidadosamente calibradas para reducir el sesgo investigativo, conforme a la metodología de Jaime y Tinoco-López (2006). Este instrumento integra preguntas socioeconómicas y de valoración ambiental, enfocadas en la medición de la calidad percibida y la asignación de aportes voluntarios.

Se construye un modelo econométrico de regresión tipo Logit binario para optimizar los supuestos estadísticos y matemáticos, buscando parámetros estimados de manera lineal y con mínima varianza (Valdivia et Al., 2009).

La disposición de pago se estima bajo condiciones específicas de valoración según Osorio y Correa (2009) y Hanemann (1984).

Para analizar la disposición de pago (DAP) y validar el modelo econométrico construido, se utilizó un enfoque de regresión logística binaria. El modelo logístico fue sometido a una prueba de validación estadística mediante Análisis de Varianza (ANOVA), estimando la Sumatoria de Cuadrados Total (SCT), la Sumatoria de Cuadrados del Error (SCE), y la Sumatoria de Cuadrados de los Factores (SCF). Estos cálculos se complementaron con la evaluación de los Grados de Libertad Totales (GLT), del Error (GLE) y de los Factores (GLF).

La fórmula utilizada para la prueba F en el ANOVA es:

$$F = \frac{\frac{SCF}{k}}{\frac{SCE}{n-k-1}} \quad (1)$$

Donde SCF es la Sumatoria de Cuadrados de los Factores, SCE es la Sumatoria de Cuadrados de los Errores,  $n$  es el número total de observaciones, y  $k$  los grados de libertad. Se esperaba que la F-calculada fuera mayor a la F-tabulada para aceptar el modelo econométrico propuesto.

El modelo logístico se representa de la siguiente manera:

$$\text{logit}_i = \ln\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right) = \alpha + \sum_k \beta_k X_{ki} \quad (2)$$

Dónde,

$\alpha$  = intercepto con el eje de la variable dependiente.

$\beta$  = parámetros de estimación predictores.

X = valores de las variables independientes implicadas.

k = número de parámetros implicados en el modelo logístico.

Pi = Probabilidad de ocurrencia de un suceso.

Este modelo permite optimizar los supuestos estadísticos y matemáticos, asegurando que los parámetros estimados sean lineales y de mínima varianza. La disposición de pago se estima bajo condiciones específicas de valoración según la metodología propuesta por Osorio y Correa (2009) y Hanemann (1984).

*Formulación de las medidas de conservación:* Esta etapa contempla el establecimiento de medidas para la conservación de humedales específicos en Valledupar, acompañado de un plan de seguimiento y monitoreo que define indicadores, metas y necesidades en recursos, con un presupuesto detallado, siguiendo las directrices de Arboleda (2008).

Este procedimiento metodológico detallado proporciona un marco comprehensivo para abordar la conservación y recuperación de los humedales en Valledupar, fundamentando las acciones propuestas en datos numéricos, análisis estadísticos rigurosos y un proceso metodológico robusto.

#### 4. RESULTADOS Y/O DISCUSIÓN

Este artículo parte de una revisión bibliográfica que no arrojó resultados significativos debido a la falta de respuestas de entidades clave como la Contraloría Municipal de Valledupar, CORPOCESAR, la Alcaldía Municipal, el IGAC y la Secretaría de Medio Ambiente Departamental. No obstante, la investigación se enriqueció mediante la participación en la elaboración de los Planes de Manejo Ambiental de los Humedales Urbanos, coordinados por la Unión Temporal ASOPROASA, lo que permitió la recopilación de datos relevantes para complementar este estudio.

El Humedal Sicarare (ver Figura 1), ubicado en el Parque de la Leyenda Vallenata "Consuelo Araujo Noguera", es de especial importancia debido a su historia y su papel actual en la conservación de la biodiversidad. En 1971, este humedal no existía como tal, pero una laguna pequeña funcionaba como jagüey o abrevadero. Hoy, ha crecido significativamente gracias a la creación de dos grandes lagunas artificiales sostenidas por aguas subterráneas, que se han convertido en un santuario para la vida silvestre. Este humedal, además, mantiene una limitada conexión ecológica con el Cerro Minakalwa y la Cuenca Baja del río Guatapurí, a pesar de la interrupción causada por infraestructuras viales (CORPOCESAR, 2023).



Figura 1. Comparación Área del Humedal Sicarare. Año 1971 versus Año 2023

El Humedal El Eneal (ver Figura 2), situado dentro del Batallón de Artillería No. 2 "La Popa", es otro ecosistema de gran relevancia en Valledupar. Aunque ha logrado conservar parte de su estructura natural, en el pasado formaba parte de la estructura ecológica de la Sierra Nevada de Santa Marta. Hoy, sus condiciones son semi clínicas, con una predominancia de reptiles y aves, y una marcada ausencia de mamíferos. A pesar de su aislamiento, este humedal sigue siendo crucial por ser el origen del Arroyo El Mamón de Leche, una fuente hídrica perenne que surca la ciudad de Valledupar (CORPOCESAR, 2023).



Figura 2. Comparación Área del Humedal Eneal. Año 1996 versus Año 2023

El Arroyo El Mamón de Leche desempeña un papel vital en la conectividad entre tres humedales: El Eneal, Maria Camila y El Edén. Históricamente, este arroyo fluía directamente hacia el Humedal Maria Camila (ver Figura 3), que en su apogeo conectaba con El Eneal. Sin embargo, la urbanización ha alterado drásticamente su curso, y el arroyo ahora se desvía hacia la Laguna El Edén. A pesar de estos cambios, El Mamón de Leche sigue siendo una pieza clave en la red hídrica de la región, aunque su capacidad para sostener los ecosistemas circundantes se ha visto comprometida (Brochero & Martínez, 2017).



Figura 3. Comparación Área del Humedal Maria Camila. Año 2004 versus Año 2023

El Humedal Maria Camila es un ejemplo de la grave pérdida de ecosistemas en la región. Este humedal ha perdido el 99% de su área total debido a la expansión urbana, quedando sin sostenibilidad hídrica y en un estado crítico. Las inundaciones frecuentes en la zona, controladas actualmente por el Canal La Solución y el distrito de riego Las Mercedes, son un testimonio de la desaparición de este humedal. A pesar de los esfuerzos para restaurar sus funciones ecológicas, Maria Camila está prácticamente irreconocible y es categorizado como un parque para el recuerdo (Brochero & Martínez, 2017).

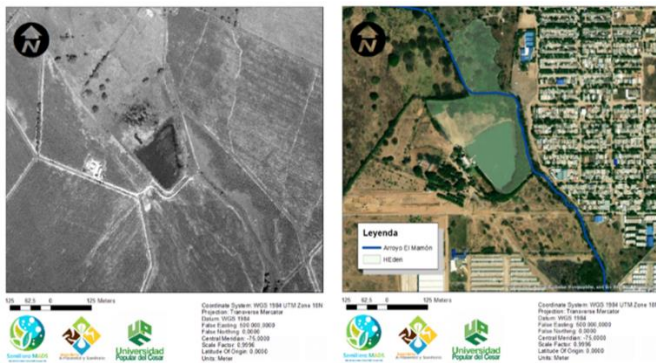


Figura 4. Comparación Área del Humedal El Edén. Año 2004 versus Año 2023

Por último, el Humedal El Edén (ver Figura 4), también conocido como Laguna El Edén, es uno de los ecosistemas menos conocidos por la ciudadanía y no está oficialmente categorizado como humedal. En el pasado, actuaba como amortiguador de aguas lluvias, sostenido hídricamente por el arroyo El Mamón de Leche. Actualmente, recibe todas las descargas del alcantarillado pluvial de la zona suroeste de Valledupar, pero ha sufrido un impacto significativo debido al relleno en su zona norte, actividad que ha alterado su función ecológica original (CORPOCESAR, 2023).

Se propuso la visita a los humedales de interés, obteniendo permisos únicamente para tres de ellos: Humedal Eneal, Humedal Maria Camila y Humedal Sicarare. En contraste, la visita al Humedal El Edén fue denegada por motivos desconocidos y supuestamente asociados al grado de impacto ambiental que tiene este lugar.

No obstante, mediante el análisis de imágenes digitales y herramientas de visualización geoespacial como ArcGIS, se pudieron observar cambios significativos en la Laguna El Edén, evidenciando la disposición inadecuada de residuos ordinarios y de construcción, la reducción de la cobertura vegetal, y la introducción de prácticas agrícolas y ganaderas. Estos hallazgos permitieron inferir aspectos e impactos ambientales, los cuales se corroboraron mediante las visitas in situ a los otros humedales, mientras que para El Edén, los impactos fueron deducidos con base en la información geoespacial disponible.

En este contexto, se aplicó una evaluación utilizando el método EPM, cuyas variables de valoración son las siguientes: Presencia del impacto ambiental (P), que mide la probabilidad de ocurrencia; Duración del impacto ambiental (D), que cuantifica el tiempo que el impacto toma en volverse significativo (medido en años); Evolución del impacto ambiental (E), que evalúa la rapidez con la que se manifiestan los efectos y consecuencias (medido en meses); y Magnitud del impacto ambiental (M), que considera la extensión del impacto, independientemente de su escala (Arboleda, 2008).

Con estas variables, se construyó la matriz EPM y se realizó la evaluación correspondiente, incluyendo la calificación ambiental (CA) calculada mediante la siguiente ecuación (Arboleda, 2008):

$$CA = C [P \times (7 \times EM + 3 \times D)] \quad (3)$$

Según Arboleda (2008), la Calificación Ambiental (CA) se clasifica en cuatro categorías: irrelevante ( $\leq 2.5$ ), moderado ( $>2.5$  y  $\leq 5.0$ ), relevante ( $>5$  y  $\leq 7.5$ ), y grave ( $>7.5$ ). En este estudio, se evaluaron 113 impactos ambientales, clasificados en siete tipos: agotamiento de recursos naturales, contaminación visual, contaminación del suelo, contaminación del ambiente, contaminación del agua, contaminación sonora y contaminación del aire. Los resultados de esta evaluación, presentados en la Figura 5, indican que un 16% de los impactos se consideran graves, un 32% se clasifican como significativos, un 47% como moderados, y un 5% como irrelevantes..

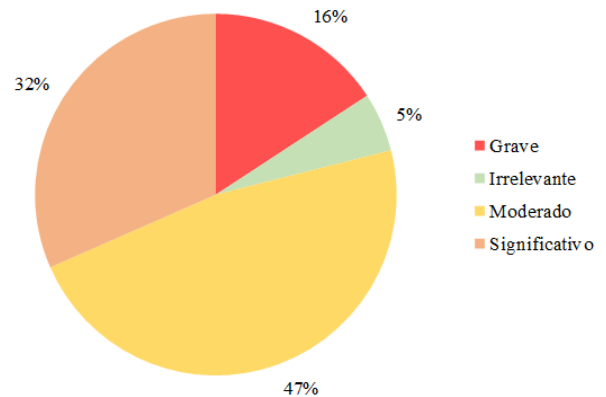


Figura 5. Clasificación de la Medición del Impacto Ambiental

La clasificación de los impactos ambientales revela una desconexión significativa de los ecosistemas y una pérdida considerable de sus funciones y servicios ecológicos, agravada por la presión de la expansión urbana. Esto ha intensificado la respuesta negativa de los ecosistemas afectados.

La revisión de los Planes de Manejo Ambiental desarrollados para los ecosistemas urbanos de Valledupar en 2005, comparada con las auditorías y revisiones realizadas por el Foro Ambiental del Cesar durante el trienio 2020-2022, junto con otras sociedades civiles, evidencia un incremento notable en la problemática ambiental. Este estudio confirma que la situación ambiental ha evolucionado de grave a significativa, tal como se detalla en los resultados presentados.

En el marco del estudio sobre la disposición de pago voluntario para la recuperación y conservación de los humedales urbanos en Valledupar, se realizaron dos encuestas clave: una encuesta piloto y una encuesta definitiva. La encuesta piloto contó con la participación de 40 individuos seleccionados debido a su conocimiento específico sobre los ecosistemas, su proximidad física a los humedales, y su variabilidad en términos de edad y género. Estos participantes fueron elegidos por ser profesionales en áreas relacionadas con el estudio, y algunos por su residencia cercana a los humedales o su conocimiento histórico de los mismos. El objetivo de esta encuesta preliminar fue explorar el nivel de conocimiento y percepción inicial respecto a los humedales. Los resultados revelaron que el 70% de los encuestados reconocían los beneficios de estos ecosistemas, y el 67% estaban conscientes de su función en la regulación climática.

Basándose en los hallazgos de la encuesta piloto, se diseñó un instrumento definitivo más robusto para evaluar de manera económica y ecosistémica los humedales. Este instrumento fue aplicado a 385 participantes, seleccionados a partir de un muestreo aleatorio simple de la población total de Valledupar proyectada para el año 2023 (según las proyecciones del censo del DANE, 2018). Es importante destacar que los 40 participantes iniciales no fueron considerados en esta segunda encuesta. El cuestionario incluyó secciones detalladas con preguntas discriminadas en componentes socioeconómicos y socioambientales, con el fin de capturar una imagen más completa y precisa de la disposición de la comunidad hacia la conservación de los humedales.

Los resultados indicaron que los encuestados mostraron una disposición positiva a contribuir económicamente a la conservación de los humedales. Los montos sugeridos para el aporte voluntario oscilaron entre \$800 y \$11.000, con un promedio de \$5.900. Este valor representa la cantidad promedio que los ciudadanos estarían dispuestos a aportar para la conservación de los humedales urbanos. Sin embargo, también se observó que los encuestados estaban dispuestos a aceptar compensaciones económicas para permitir desarrollos urbanísticos en los humedales, con montos demandados que variaban entre \$10.000 y \$94.000.000, promediando aproximadamente \$19.000.000. Este contraste sugiere que, aunque existe una inclinación hacia la conservación, también

hay una valoración económica significativa de los humedales como terrenos potenciales para el desarrollo urbano, lo que refleja una dualidad en las prioridades de la comunidad.

Para cuantificar la disposición de pago (DAP) por la conservación de los humedales, se desarrolló un modelo econométrico basado en regresión múltiple. Este modelo consideró variables clave como la oportunidad de contratación en contra de los humedales (CONTR), la responsabilidad atribuida a las empresas privadas (EPRIV), la responsabilidad comunitaria (COMUN) y la variable de mercado de precios ofertados (DAP\_R). Después de cuatro iteraciones, el modelo alcanzó una expresión funcional significativa y estadísticamente relevante, representada por la siguiente ecuación:

$$DAP = 0,923162097 + 0,047260655*CONTR - 0,048551031*EPRIV + 0,101780773*COMUN + 0,00016567*DAP\_R \quad (4)$$

Este modelo demuestra cómo cada variable influye en la disposición de los individuos a pagar por la conservación de los humedales. La variable DAP\_R, que representa el precio ofertado, se mantuvo consistentemente significativa a lo largo de todas las iteraciones, lo que subraya su relevancia en la determinación de la DAP.

Aplicando la metodología propuesta por Hanemann (1984), la DAP estimada se calculó en \$65.077,53 por habitante de Valledupar al mes, lo que equivale a \$16.269,38 por cada humedal. Este valor refleja no solo la disposición de la comunidad a financiar la conservación, sino también la percepción de la importancia crítica de estos ecosistemas para el bienestar colectivo. La sobreestimación de estos valores destaca una preocupación significativa y generalizada por la preservación de los humedales, lo que podría interpretarse como un fuerte respaldo comunitario hacia la implementación de políticas de conservación más rigurosas.

Para la formulación del plan de manejo ambiental orientado a la conservación de los humedales en el área urbana del municipio de Valledupar, Cesar, se han propuesto diversas medidas estratégicas enfocadas en la conservación de estos ecosistemas, abarcando aspectos fundamentales como la gestión del suelo y el agua, la protección de la flora y fauna, así como la integración de la comunidad en procesos de sensibilización y participación. Estas acciones buscan prevenir, mitigar, corregir o compensar los efectos ambientales adversos, además de mejorar las condiciones actuales y asegurar la sostenibilidad a largo plazo de los humedales, que son esenciales para el equilibrio ecológico de la región.

En relación con el Humedal El Eneal, se han diseñado propuestas que incluyen la promoción de buenas prácticas en el uso de los recursos naturales y la implementación de regulaciones estrictas para la protección del humedal, acompañadas de un sistema de monitoreo constante de la calidad del agua. También se han planteado iniciativas para mejorar la gestión del suelo, incluyendo la recolección y

tratamiento adecuado de residuos sólidos y de construcción, así como la restauración de hábitats naturales.

La protección de la flora y fauna se centra en la creación de viveros para especies amenazadas y el diseño de hábitats artificiales que aseguren la preservación de la biodiversidad.

En cuanto al Humedal María Camila, que ha experimentado una considerable reducción de su área, se propone la restauración de la ronda hídrica y la creación de infraestructuras para la recarga del humedal mediante aguas subterráneas y pluviales. La restauración de la cobertura vegetal y la gestión efectiva de residuos sólidos también forman parte de las medidas clave. Además, se plantean proyectos para fomentar el turismo alternativo pasivo y la conservación de especies amenazadas, con especial atención en aquellas especies que enfrentan mayores riesgos debido al cambio climático.

El Humedal Sicarare, situado en el Parque de la Leyenda Vallenata, es otro ecosistema central en estas estrategias de conservación. Las propuestas incluyen la evaluación y monitoreo del modelo de recarga de las lagunas, la gestión integral de residuos sólidos, y la rehabilitación de suelos degradados. También se plantea la restauración de la cobertura vegetal terrestre, la creación de hábitats artificiales para especies amenazadas y la implementación de corredores ecológicos para facilitar el paso seguro de la fauna local.

Estas medidas de conservación están diseñadas para ser implementadas en diferentes horizontes de tiempo, variando desde los 12 meses hasta los 10 años como plazo máximo.

La mayoría de las acciones, representando un 76.7% de las propuestas, se sitúan en un plazo medio de ejecución, estimado entre 4 a 7 años. Este enfoque temporal refleja la necesidad de adoptar un plan de acción gradual y sostenido que permita alcanzar resultados significativos en la preservación de estos humedales, al mismo tiempo que se garantiza su viabilidad a largo plazo.

El costo total proyectado para la implementación de todas estas medidas de conservación y restauración en los humedales El Eneal, María Camila y Sicarare asciende a \$21.583.980.000,00. Este enfoque integral asegura que los humedales de Valledupar no solo se preserven, sino que también se restauren y mejoren, garantizando así su contribución continua al equilibrio ecológico y al bienestar de la comunidad local. La adopción de estas estrategias representa un compromiso firme con la protección ambiental, esencial para la sostenibilidad de los recursos naturales y la calidad de vida en la región.

## 5. DISCUSIÓN

La discusión de resultados en este estudio integra de manera crítica la caracterización histórica de los humedales Sicarare, El Eneal, María Camila y El Edén en Valledupar, la valoración económica de estos ecosistemas y la formulación de medidas de conservación, destacando las interrelaciones y desafíos identificados.

El análisis histórico de los humedales revela un panorama preocupante que se alinea con la tendencia general de degradación de humedales urbanos en América Latina. El Humedal Sicarare, que ha experimentado una notable transformación debido a la intervención humana, presenta una expansión en su área a través de la creación de lagunas artificiales. Sin embargo, estas intervenciones no siempre replican las funciones ecológicas complejas de un humedal natural, lo que podría comprometer su sostenibilidad a largo plazo (Moreno et al., 2018). De manera similar, el Humedal El Eneal, a pesar de conservar parte de sus características naturales, enfrenta problemas de aislamiento y disminución de biodiversidad, reflejando patrones observados en otros humedales colombianos donde la fragmentación del hábitat ha sido un factor crítico en la pérdida de funciones ecológicas (Tibaquirá, 2021).

El caso del Humedal María Camila es particularmente alarmante, habiendo perdido el 99% de su área original debido a la urbanización descontrolada. Esto resalta la necesidad urgente de políticas urbanas más estrictas para proteger estos ecosistemas, una conclusión que se refuerza al comparar con otros estudios en Bogotá, donde se ha documentado la necesidad de intervenciones más robustas para mitigar la pérdida de humedales urbanos (Pulido, 2021). El Humedal El Edén, aunque menos conocido y no oficialmente categorizado, desempeña un papel crucial en la regulación hídrica, pero ha sido gravemente impactado por la disposición inadecuada de residuos, lo que subraya la complejidad de la restauración de estos ecosistemas, como se ha observado en otros contextos similares (Gélvez, 2018).

La valoración económica de los humedales en Valledupar, con una disposición a pagar (DAP) de \$65.077,53 por habitante al mes, refleja un reconocimiento significativo por parte de la comunidad de la importancia de estos ecosistemas. Esta valoración, sin embargo, debe contextualizarse en la percepción cultural y simbólica de los humedales, lo que podría influir en la DAP, como ha sido evidenciado en estudios similares en otras áreas urbanas de Colombia (Gómez-Ballesteros et al., 2019). Además, la disposición de la comunidad a aceptar compensaciones para permitir desarrollos urbanísticos resalta una dualidad en las prioridades locales, un fenómeno también observado en otras regiones urbanas en crecimiento en América Latina (Hernández-Camacho et al., 2020).

Las medidas de conservación propuestas son críticas para mitigar la degradación de los humedales, incluyendo la restauración de la ronda hídrica y la creación de infraestructuras para la recarga de los humedales mediante aguas subterráneas y pluviales. Estas estrategias están en línea con las mejores prácticas en la restauración de humedales, como se ha observado en estudios en el Valle del Cauca, donde la gestión hídrica se identificó como un componente esencial para la sostenibilidad a largo plazo (Rodríguez et al., 2018). Sin embargo, la implementación de estas medidas enfrenta desafíos significativos, particularmente en términos de financiamiento y continuidad en la gestión, lo que podría limitar su efectividad (Guzmán & Vargas, 2019).

La integración de la comunidad en las actividades de conservación es un aspecto fundamental de las medidas propuestas. Experiencias en otras ciudades colombianas, como Bogotá, han demostrado que la participación comunitaria es clave para el éxito de las iniciativas de conservación, mejorando no solo la implementación de las medidas, sino también incrementando la conciencia pública sobre la importancia de estos ecosistemas (Jaramillo & Franco, 2016). Sin embargo, es necesario que estas estrategias se adapten a las particularidades culturales y socioeconómicas de la población de Valledupar para asegurar su éxito.

Por último, las limitaciones del estudio, como la falta de datos históricos precisos y la dependencia de percepciones comunitarias, subrayan la necesidad de un monitoreo continuo y más detallado para obtener una imagen más completa y precisa de la evolución de estos ecosistemas. La implementación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) para el monitoreo es un avance importante, pero su éxito dependerá de la calidad de los datos recolectados y del compromiso de las autoridades locales y la comunidad (Rodríguez, 2020). Además, la efectividad de las medidas propuestas dependerá de la disponibilidad de recursos financieros y técnicos, así como de un marco legal robusto que garantice la sostenibilidad de las acciones a largo plazo (López et al., 2020).

## 6. CONCLUSIONES

Las conclusiones de esta investigación subrayan la importancia crítica de los humedales urbanos en Valledupar, Cesar, tanto desde una perspectiva ambiental como socioeconómica. A lo largo del estudio, se ha demostrado que estos ecosistemas no solo son vitales para la regulación climática, el control de inundaciones y la conservación de la biodiversidad, sino que también constituyen un pilar fundamental en la preservación del patrimonio cultural de la región, con profundas raíces históricas conectadas a las comunidades indígenas Asarios.

El análisis realizado sobre los humedales Sicarare, El Eneal, María Camila y El Edén ha revelado la diversidad de funciones que cada uno de ellos desempeña en el entorno urbano y natural de Valledupar. El Humedal Sicarare se destaca por su significancia ecológica, con una expansión considerable que ha permitido la creación de un refugio para la vida silvestre. Por otro lado, el Humedal El Eneal, aunque aún funcional, muestra signos de deterioro debido a la disminución de especies clave y su aislamiento progresivo. El Humedal María Camila, que ha sufrido una reducción casi total de su área, se encuentra en un estado crítico, mientras que El Edén ha sido gravemente impactado por actividades humanas, particularmente la disposición inadecuada de residuos y la alteración de su hidrología natural.

La valoración económica a través de encuestas realizadas a la población de Valledupar reveló una disposición significativa por parte de la comunidad para financiar la conservación de

estos humedales. Este hallazgo es un indicador claro del valor que los ciudadanos otorgan a estos ecosistemas, reflejando no solo una conciencia ambiental creciente, sino también un reconocimiento de los beneficios tangibles e intangibles que los humedales proporcionan. Sin embargo, la disposición a aceptar compensaciones por permitir desarrollos urbanísticos destaca una dualidad en las prioridades de la comunidad, lo que plantea un desafío para la formulación de políticas de conservación efectivas. Este escenario refuerza la necesidad imperante de que se implementen políticas públicas robustas que equilibren el desarrollo urbano con la conservación ambiental, asegurando que los beneficios económicos inmediatos no comprometan la sostenibilidad a largo plazo de estos ecosistemas vitales.

En respuesta a estos desafíos, se ha formulado un plan de manejo ambiental que integra medidas específicas de conservación para cada humedal. Este plan, que varía en su aplicación desde el corto hasta el largo plazo, propone acciones detalladas en la gestión del suelo y el agua, la restauración de la flora y fauna, y la promoción de la participación comunitaria. Las medidas están diseñadas para ser implementadas en diferentes horizontes temporales, con un enfoque mayoritario en el medio plazo, lo que asegura un proceso de conservación gradual pero sostenido. La participación activa de la comunidad en estos esfuerzos es crucial no solo para garantizar la efectividad de las medidas, sino también para fomentar un sentido de responsabilidad compartida que pueda perdurar a lo largo del tiempo.

El costo estimado de implementación de estas medidas, que asciende a \$21.583.980.000,00, refleja la envergadura del compromiso necesario para restaurar y conservar estos ecosistemas vitales. La integración de un Sistema de Información Geográfica (SIG) para el monitoreo y la evaluación continua de las condiciones ambientales de los humedales, junto con programas de sensibilización y educación ambiental, son componentes clave de este plan. No obstante, para que estas iniciativas sean verdaderamente efectivas, es indispensable asegurar un financiamiento adecuado y sostenido, así como la existencia de un marco legal que respalde y garantice la continuidad de las políticas de conservación, más allá de los cambios administrativos y políticos.

Finalmente, las conclusiones de este estudio destacan la urgencia de implementar un enfoque coordinado y multifacético para la conservación de los humedales en Valledupar. La falta de intervención podría llevar a un deterioro irreversible de estos ecosistemas, con consecuencias severas para la biodiversidad, la regulación climática y la identidad cultural de la región. La alta disposición de la comunidad a participar en la conservación sugiere que hay una base sólida sobre la cual construir un futuro sostenible para los humedales de Valledupar. Este estudio establece un marco robusto para la acción, marcando un camino claro hacia la preservación sostenible de estos ecosistemas esenciales.

## REFERENCIAS

- Arboleda G., J. (2008). Manual para la Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos, Obras o Actividades. Medellín, Colombia: Propia: Jorge Arboleda.
- Brochero E. y Martínez J. (2017). Diagnóstico Hídrico, Social y Ambiental del Cuerpo de Agua Léntico (Humedal Maria Camila), ubicado en el Área Urbana del municipio de Valledupar departamento del Cesar. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Recuperado de: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/13207>
- Cadena G., J., Duque Y., S., Tovar C., R., & Ballesteros L., T. (2019). Valoración económica de los servicios ecosistémicos más importantes que ofrece el humedal Tibanica (Bogotá, Colombia). *Ambiente y Desarrollo*, 2346-2876. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/339220583\\_Valoracion\\_economica\\_de\\_los\\_servicios\\_ecosistemicos\\_mas\\_importantes\\_que\\_ofrece\\_el\\_humedal\\_Tibanica\\_Bogota\\_Colombia](https://www.researchgate.net/publication/339220583_Valoracion_economica_de_los_servicios_ecosistemicos_mas_importantes_que_ofrece_el_humedal_Tibanica_Bogota_Colombia)
- Corporación Autónoma Regional del Cesar – CORPOCESAR. (2005). Plan de Manejo Ambiental de los Humedales de Valledupar. Valledupar, Cesar, Colombia. Recuperado de: <https://www.corpocesar.gov.co/POMCAS-Corpocesar.html>
- CORPOCESAR. (2017). Resolución 0573 del 30 de Junio de 2017 "Caducidad Administrativa de Concesión de Aguas Arroyo Mamón de Leche". Valledupar, Colombia: Corporación Autónoma Regional del Cesar. Obtenido de <https://www.corpocesar.gov.co/files/RESOLUCION%200573%2030%2006%202017.pdf>
- Corporación Autónoma Regional del Cesar – CORPOCESAR. (2023). Plan de Manejo Ambiental del Humedal El Eneal. Valledupar, Cesar, Colombia.
- Corporación Autónoma Regional del Cesar – CORPOCESAR. (2023). Plan de Manejo Ambiental del Humedal Maria Camila. Valledupar, Cesar, Colombia.
- Corporación Autónoma Regional del Cesar – CORPOCESAR. (2023). Plan de Manejo Ambiental del Humedal Sicarare. Valledupar, Cesar, Colombia.
- Delle Grazie FM, Gill LW. (2022). Review of the Ecosystem Services of Temperate Wetlands and Their Valuation Tools. *Water*; 14(9):1345. <https://doi.org/10.3390/w14091345>
- EEA. (01 de Enero de 2018). Clasificación Internacional Común de los Servicios de los Ecosistemas (CICES) para la Contabilidad Ambiental y Económica Integrada. Obtenido de European Environmental Agency: <https://cices.eu/resources/>
- FAO. (s.f.). Servicios ecosistémicos y biodiversidad. Recuperado el 07 de Julio de 2022, de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <https://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>
- Flórez, G., Ospina, J., Alzate, Á., Chávez, M., Gallo, C., Vidal, C., Delgado, L. (2020). Valoración económica de los servicios ecosistémicos de humedales Altoandinos: tres métodos de aplicación. *Manizales: Centro Editorial Universidad Católica de Manizales*.
- García, F. (2001). Reconocimiento Hidrogeológico de Humedales en la cuenca del Segura. VII Simposio de Hidrogeología, 1-66. Obtenido de <https://es.calameo.com/read/001272316ccf1989ea221>
- Gélvez, T. (2018). Valoración económica de humedales Casos Capellanía y La Conejera en Bogotá. Bogotá D.C.: Fundación Universitaria Los Libertadores. Obtenido de <https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/3133/Primera%20parte.%20Metodolog%C3%ADas%20y%20herramientas%20de%20medici%C3%B3n.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Gómez-Ballesteros, E., Moreno-Sánchez, R., & Velasco-Santamaría, Y. (2019). Valoración económica de los servicios ecosistémicos en Colombia: Una aproximación a la teoría y la práctica. *Revista Ambiente y Desarrollo*, 23(45), 67-89. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.amby23-45.vesc>
- Guzmán, J., & Vargas, A. (2019). Restauración ecológica en humedales de la Amazonía peruana: Estrategias y desafíos. *Revista Latinoamericana de Conservación*, 12(2), 45-60. <https://doi.org/10.29035/rlc.v12n2.567>
- Hanemann, M. (1984). Welfare Evaluations in Contingent Valuation Experiments with Discrete Responses. *American Journal of Agricultura Economics*, 66(3), 332-341.
- Hernández-Camacho, C., Díaz-Gómez, C., & Pérez-García, E. (2020). Servicios ecosistémicos y crecimiento urbano: Un análisis en ciudades intermedias de Colombia. *Revista de Geografía Norte Grande*, 77, 45-64. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022020000100045>
- Jaime P., Alberto, & Tinoco-López, R.O.. (2006). Métodos de valuación de externalidades ambientales provocadas por obras de ingeniería. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 7(2), 105-119. Recuperado en 23 de agosto de 2024, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432006000200004&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432006000200004&lng=es&tlng=es).
- Jaramillo, M., & Franco, D. (2016). La participación comunitaria en la conservación de humedales urbanos: Un estudio de caso en Bogotá, Colombia. *Revista de Ecología y Sociedad*, 21(4), 33-50. <https://doi.org/10.1016/j.recycsos.2016.03.002>
- López, A., Rodríguez, L., & Martínez, P. (2020). Planes de manejo ambiental en humedales urbanos: Lecciones de Bogotá y Cali. *Revista Colombiana de Medio Ambiente*, 34(1), 78-95. <https://doi.org/10.21008/rev.colamb.2020.01.06>
- Meli P, Rey Benayas JM, Balvanera P, Martínez Ramos M (2014) Restoration Enhances Wetland Biodiversity and Ecosystem Service Supply, but Results Are Context-Dependent: A Meta-Analysis. *PLOS ONE* 9(4): e93507. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093507>

MINAMBIENTE. (2014). Decreto 2041 del 15 de octubre de 2014. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Moreno, V., García, J., & Villalba, J. (1989). Descripción General de los Humedales de Bogotá D.C. Bogotá D.C.: Sociedad Geográfica de Colombia Academia de Ciencias Geográficas. Recuperado el 03 de Julio de 2022, de <https://www.sogeocol.edu.co/documentos/humed.pdf>

Osorio Múnera, Juan David, & Correa Restrepo, Francisco Javier. (2009). Un análisis de la aplicación empírica del método de valoración contingente. *Semestre Económico*, 12(25), 11-30. Retrieved August 23, 2024, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-63462009000300002&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-63462009000300002&lng=en&tlng=es).

Pulido, L. (2021). Valoración Económica De Los Servicios Ecosistémicos Del Humedal El Burro. Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/27779/PulidoDavilaLizethDayana2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rodríguez, C. (2020). Conservación de la biodiversidad en humedales urbanos: Estrategias y retos en Colombia. *Revista de Conservación y Restauración Ecológica*, 15(3), 29-43. <https://doi.org/10.1016/j.recreco.2020.06.005>

Rodríguez, L., Hernández, A., & Gómez, M. (2018). Restauración de humedales en el Valle del Cauca: Un enfoque hacia la sostenibilidad. *Revista Colombiana de Biología y Conservación*, 22(2), 101-118. <https://doi.org/10.15446/rev.colbiolconserv.2018.02.05>

Tibaquirá M., A. (2021). Valoración Económica y Ambiental De Los Servicios Ecosistémicos Suministrados Por El Humedal Jaboque A La Tingua Bogotana y Su Incidencia En La Preservación Por El Humedal Jaboque A La Tingua Bogotana y Su Incidencia En La Preservación. Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/27785/Tibaquir%C3%A1MoncadaAng%C3%A9licaJulieth2021.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

UNESCO. (1971). Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas. Ramsar, Irán: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, La Ciencia y La Cultura.

Valdivia Alcalá, A., Cuevas Alvarado, E., Sandoval Villa, M., & Romo Lozano, J. L. (2009). Métodos para la evaluación económica de los recursos naturales. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 13(3), 563-572. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.56789>



# Evaluación del potencial de *Eleocharis elegans* mediante humedales artificiales en la fitorremediación de agua residual coloreada proveniente de la agroindustria de las flores.

Marlon Carmona <sup>1</sup>; Carlos Augusto Benjumea Hoyos<sup>1(\*)</sup>; José Rojas <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Limnología y Recursos Hídricos, Facultad Ingeniería, Universidad Católica de Oriente, Colombia.

<sup>2</sup>Grupo de Investigación Estudios Florísticos, Universidad Católica de Oriente, Colombia

**Resumen:** La contaminación, como resultado del crecimiento demográfico y las actividades humanas, afecta tanto la salud como el medio ambiente. En el Oriente antioqueño, el auge de la industria floricultora genera aguas residuales coloreadas que podrían tratarse mediante fitorremediación con humedales artificiales, ofreciendo una alternativa eficaz y sostenible para abordar el problema de la contaminación del agua. Por lo tanto, en este trabajo se evaluó el potencial de *Eleocharis elegans* en la fitorremediación de aguas coloreadas provenientes de floricultivos de la región. Este estudio se realizó en el campus de la Universidad Católica de Oriente, en Rionegro, Antioquia (Colombia), donde se instalaron humedales artificiales de flujo subsuperficial con dimensiones de 26 cm x 30 cm x 28 cm cada uno, utilizando un sistema de recirculación, grava de 1-2 cm y tierra como sustrato para las plantas. En la investigación, se probaron dos métodos diferentes, que incluyeron las variables de absorbancia y demanda química de oxígeno (DQO) para determinar el grado de contaminación, además de otras variables de respuesta como pH, oxígeno disuelto, turbidez, conductividad, sólidos disueltos totales (SDT) y potencial REDOX. Se logró una remoción de alrededor del 50% en DQO y color, aunque estos resultados fueron inferiores a los de otros estudios, posiblemente debido a los efectos negativos en las plantas causados por los diferentes compuestos contaminantes, lo cual se evidenció en el crecimiento y número de ejes.

**Palabras clave:** Contaminación, Agua residual coloreada, Floricultivos. Fitorremediación, Tratamiento de agua, Humedales artificiales.

Recibido: 15 de julio de 2024. Aceptado: 2 de septiembre de 2024

Received: July 15th, 2024. Accepted: September 2nd, 2024

## Assessment of the Potential of *Eleocharis elegans* Using Constructed Wetlands in the Phytoremediation of Colored Wastewater from the Flower Agroindustry.

**Abstract:** Pollution, resulting from population growth and human activities, negatively impacts health and the environment. In eastern Antioquia, the expansion of the flower industry has led to the generation of colored wastewater, which could be effectively treated by phytoremediation using constructed wetlands, providing a sustainable solution to water pollution. Therefore, this study aimed to evaluate the phytoremediation potential of *Eleocharis elegans* in treating colored wastewater from flower farming in the region. The research was conducted on the campus of Universidad Católica de Oriente in Rionegro, Antioquia (Colombia), where subsurface flow constructed wetlands were installed, each measuring 26 cm x 30 cm x 28 cm. These wetlands utilized a recirculation system, 1-2 cm gravel, and soil as a plant substrate. Two different methods were tested, focusing on absorbance and Chemical Oxygen Demand (COD) to determine the degree of contamination, along with other response variables such as pH, dissolved oxygen, turbidity, conductivity, Total Dissolved Solids (TDS), and REDOX potential. A removal efficiency of about 50% was achieved for COD and color. However, these results were lower than those in other studies, possibly due to the negative effects of various pollutant compounds on the plants, as indicated by reduced growth and the number of shoots.

**Keywords:** Contamination, Colored wastewater, Floriculture, Phytoremediation, Water treatment, constructed wetlands.

## 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación es resultado del crecimiento demográfico, la urbanización y actividades como la minería, la industria y la agricultura, entre otras. Esta problemática ha aumentado debido a la creciente demanda de alimentos, energía, estilos de vida y servicios (Padmavathiamma & Li, 2007; Luna & Benjumea-Hoyos, 2019). Algunas actividades han contribuido a la contaminación de manera negligente, priorizando únicamente beneficios económicos inmediatos. En el mundo industrializado, muchas fábricas vierten sus desechos en ríos y otras corrientes sin aplicar medidas de tratamiento para reducir la cantidad y toxicidad de los vertidos (Ilyas et al., 2010; Pandey, 2006). Sectores como la industria química, la producción de colorantes, las fábricas de papel y los lavaderos de minerales son ejemplos de estas prácticas perjudiciales (Kishor et al., 2021; Pandey, 2006; Roy-Choudhury, 2013). La contaminación genera graves problemas para la salud humana y el medio ambiente, tales como enfermedades cancerígenas, reacciones alérgicas, alteraciones en la fisiología y los mecanismos bioquímicos de los animales, eutrofización, reducciones drásticas de los niveles de oxígeno, bloqueo de la luz en el agua, entre otros efectos adversos (Malik & Khan, 2014).

Para hacer frente al problema de la contaminación del agua, se suele usar un método convencional que puede consistir en tres etapas de tratamiento y, en algunos casos, una desinfección final (Sonune & Ghate, 2004). Inicialmente, se realiza el tratamiento primario, en el cual se eliminan las partículas sólidas en suspensión y se clarifica el agua (Lucena et al., 2004). Posteriormente, se lleva a cabo el tratamiento secundario, que utiliza microorganismos para eliminar la materia orgánica disuelta (Demirbas et al., 2017). El último es el tratamiento terciario, cuyo objetivo es afinar la calidad del agua eliminando compuestos específicos, como los contaminantes emergentes, que difícilmente se pudieron remover en los métodos anteriores (Benjumea-Hoyos et al., 2024). En algunos casos, se añade un tratamiento de desinfección para reducir la carga microbiana presente en el agua mediante la adición de desinfectantes como el cloro (Amin et al., 2013).

La fitorremediación, que forma parte del tratamiento terciario, se define como un procedimiento que emplea plantas y los microorganismos asociados a ellas para remediar y reducir la contaminación presente en el suelo, el agua y el aire. Esta técnica aprovecha la habilidad inherente de algunas especies vegetales para absorber, degradar, procesar y, en ocasiones, acumular contaminantes (Iturbe-Arguelles, 2010; Sumiahadi & Acar, 2018; Susarla et al., 2002).

## 2. MARCO TEÓRICO

Los mecanismos de fitorremediación se utilizan en humedales artificiales para eliminar contaminantes presentes en el agua residual (Olmos-Márquez et al., 2020). Para determinar la eficiencia de un método de tratamiento para un contaminante específico, es indispensable contar con parámetros que reflejen las características del agua. Por ejemplo, la DQO es uno de los

parámetros más utilizados en la medición de agua residual porque ayuda a identificar los compuestos químicamente oxidables presentes en el agua (Doğruel & Orhon, 2021; Meng et al., 2020). Además, existen otros parámetros fisicoquímicos que indican el estado del agua, como el pH, que mide el grado de acidez o alcalinidad de una sustancia mediante la concentración de iones de hidrógeno. La conductividad puede indicar el contenido de minerales disueltos al medir la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica. La turbidez revela cuán clara o turbia está el agua, considerando las partículas en suspensión. El oxígeno disuelto en el agua evidencia el grado de contaminación por materia orgánica y su oxidación, entre otros indicadores (Ma et al., 2020).

*Eleocharis elegans* es una planta monocotiledónea de la familia Cyperaceae, perenne y con rizomas (Delgadillo-López et al., 2011). Estas plantas acuáticas emergentes han desarrollado una notable adaptación: han reducido sus hojas alrededor de la base de tallos rígidos, utilizando estos últimos para llevar a cabo la fotosíntesis en lugar de las hojas. Su inflorescencia consiste en una espiguilla solitaria con flores de escamas sin vellosidades (Magalhães et al., 2005). Los frutos son achenios, de forma biconvexa o triangular, con una expansión persistente del estilo en el ápice (Gil & Bove, 2004). Esta planta se encuentra distribuida en las Antillas y en el continente americano, desde México hasta Argentina.

El Oriente antioqueño es una región ubicada en el centro de Colombia, específicamente al suroriente del departamento de Antioquia, entre los ríos Cauca y Magdalena. Esta zona es una de las nueve subregiones del departamento y cuenta con 23 municipios divididos en Altiplano, Embalses, Bosques y Páramos (Fonnegra-Gómez & Villa-Londoño, 2011; Pineda-Gómez & Pimienta-Betancur, 2021). Después del Valle de Aburrá, el Oriente es la segunda subregión de Antioquia en importancia económica, aportando cerca del 8,85% al PIB departamental y con una Tasa General de Participación (TGP) superior al 64,4% de la tasa nacional. En 2021, hubo un incremento del 15,7% en matrículas de nuevas empresas en la región. Sin embargo, asociado al crecimiento de la zona existen dinámicas como la producción agrícola, cafetera, ganadería extensiva, silvicultura, extracción forestal, minería, urbanismo y turismo, que han deteriorado los ecosistemas, generando pérdida de biodiversidad, fragmentación de los ecosistemas, contaminación, entre otros (Correa-Villegas, 2023; Osorio-Loaiza, 2022).

En esta región, el auge del sector floricultor es evidente, supliendo demandas locales e internacionales (5% al 10% de las ventas). Las exigencias estéticas a nivel internacional son más estrictas que las locales, lo que ha llevado a implementar procesos de tinción como la absorción, que consiste en sumergir el tallo de una planta con flor, usualmente blanca, en una solución coloreada con un pigmento (Benjumea-Hoyos et al., 2020; Giraldo-Raigoza & Medina-Arroyave, 2017). Después de este proceso, se generan aguas residuales provenientes del agua no absorbida. El agua residual coloreada debe tratarse antes de ser vertida en un cuerpo hídrico debido a sus características y compuestos, como colorantes orgánicos ácidos, carbohidratos, ácido hidroxitricabóxico, sorbato de

potasio, tensioactivo alquil y metales pesados (Benjumea-Hoyos et al., 2024; Gobena et al., 2020; Mejía et al., 2018). Este trabajo busca evaluar el potencial de *Eleocharis elegans* en la fitorremediación de aguas coloreadas provenientes de floricultivos de la región. La fitorremediación con humedales artificiales puede ser una alternativa efectiva para solucionar problemas de contaminación, frente a algunos métodos de tratamiento de aguas residuales que pueden tener limitaciones, ser costosos y afectar irreversiblemente el suelo, el agua y los organismos de la zona tratada (Padmavathiamma & Li, 2007; Sánchez-Ortiz, 2022).

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Área de estudio.

El estudio se llevó a cabo en el campus de la Universidad Católica de Oriente (UCO), donde se instalaron humedales artificiales de flujo subsuperficial (Figura 1). La UCO se encuentra en el municipio de Rionegro, Antioquia, Colombia (6.149575° N, 75.366511° W), una región caracterizada por una temperatura media anual de 16.6°C y una precipitación promedio de 1881 mm. Según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1982), Rionegro se clasifica como un bosque húmedo montano bajo tropical. Además, el municipio presenta dos grandes macrounidades geomorfológicas: la superficie de erosión y el escarpe, con altitudes que oscilan entre 2000 y 3000 metros sobre el nivel del mar (Benjumea-Hoyos et al., 2018; Benjumea-Hoyos, 2018; CORNARE, 2012).



**Figura 1.** Mapa de la ubicación del área de estudio donde se llevó a cabo el montaje y tratamiento del agua coloreada con los humedales artificiales (Universidad Católica de Oriente).

#### 3.2 Recolección de material vegetal y trasplante.

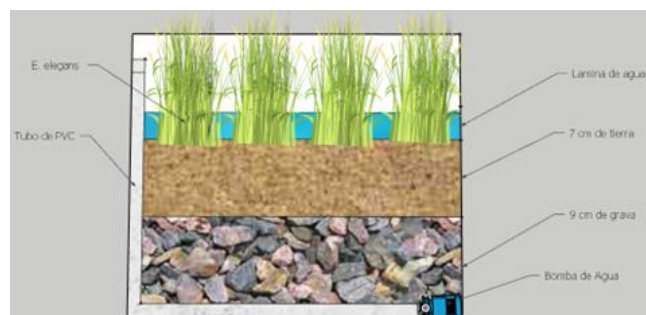
La recolección del material vegetal se realizó en el humedal Guadalcanal, ubicado en el municipio de Rionegro (6,14691° N, 75,40632° W). Se seleccionaron plantas con numerosos ejes, los cuales fueron podados al ras para evitar la deshidratación, y se eliminó el exceso de sedimento adherido. Finalmente, las plantas fueron almacenadas en bolsas plásticas para su transporte. Una vez en el laboratorio de recursos hídricos de la UCO, las plantas se subdividieron en macollas uniformes de 16 cm con dos a tres ejes, para ser plantadas en los humedales artificiales de flujo subsuperficial previamente instalados (cuyas especificaciones se detallan posteriormente) (Figura 2). Las macollas se plantaron en cada humedal a una

distancia de 9,6 cm de ancho y 6,8 cm de largo entre sí. Luego, se vertieron 6400 ml de agua potable proveniente del acueducto municipal en cada humedal. Se permitió un periodo de aclimatación de aproximadamente un mes, durante el cual se repuso el agua perdida en los humedales con agua potable, y se trasladaron al sitio designado al aire libre, cubierto con un plástico transparente a modo de techo.

#### 3.3 Montaje y diseño experimental

Para este estudio, se utilizó un diseño completamente aleatorio con tres tratamientos de humedales (A, B y C), cada uno con tres réplicas. El humedal A contenía una muestra de agua coloreada a una concentración específica y 8 plantas. El humedal B sirvió como control para el crecimiento de las 8 plantas sin la adición de agua coloreada. Finalmente, el tratamiento C se usó como control para evaluar el efecto del sistema subsuperficial en la mejora de las características del agua, y contenía solo la muestra de agua coloreada sin plantas.

La muestra de agua coloreada, proveniente de un proceso agroindustrial de flores, se obtuvo de una floricultora ubicada en Rionegro, Antioquia. Los humedales se diseñaron como sistemas de flujo subsuperficial, compuestos por un contenedor plástico de 20 litros con dimensiones de 26 cm x 30 cm x 28 cm. Los contenedores se llenaron con grava de diámetro 1-2 cm hasta una altura de 9 cm, seguido de tierra hasta una altura de 7 cm, y finalmente con agua potable (humedal B) o agua coloreada (humedales A y C). Los contenedores también estaban equipados con un sistema de recirculación, que incluía una bomba pequeña con un caudal promedio de 190,8 L/h, una manguera de media pulgada y un tubo de PVC de media pulgada con orificios (Alvares-Lopez & Rojas-Rodas, 2019; Noreña-Acevedo et al., 2020) (Figura 2).



**Figura 2.** Diseño del humedal artificial con sus respectivos componentes los cuales son grava, tierra, bomba de agua pequeña, tubo de PVC, plantas (en los humedales A y B), agua coloreada (humedal A y C), y agua potable (humedal B).

Para el tratamiento del agua coloreada se emplearon dos métodos. El primer método se llevó a cabo del 17 de marzo al 10 de abril de 2023, y consistió en recargar los humedales con 6400 ml de agua coloreada al 0,5% y posteriormente al 2%, con tiempos de retención (Tr) de 3 y 4 días. En cada muestreo se midieron las diferentes variables antes y después de la recarga. El segundo método se realizó del 10 al 21 de abril de 2023. En este método, las concentraciones iniciales de la demanda química de oxígeno (DQO) de cada tratamiento se igualaron mediante la adición de un volumen de agua coloreada al 5%, con un Tr de 7 días. Posteriormente, se

reponía el agua perdida por evapotranspiración con agua potable para las mediciones finales de las diferentes variables. En este último método se consideraron el número de ejes producidos por las plantas y los parámetros de DQO y color.

### 3.4 Evaluación del contaminante

Para determinar el grado de contaminación, se midieron la Demanda Química de Oxígeno (DQO, mg/L) y el color mediante el número de color (cm<sup>-1</sup>), según lo planteado en los métodos estándar para el análisis de aguas potables y residuales (American Public Health Association, 2017; Krull & Döpkens, 2004; Tizaoui et al., 2007). La evaluación de estos parámetros se realizó antes y después de la aplicación de los diferentes tratamientos al vertimiento del contaminante y durante aproximadamente cuatro meses. Para ello, se utilizó el espectrofotómetro Spectroquant Prove 600, con el fin de determinar la eficiencia de remoción del contaminante en los humedales correspondientes (Jaramillo-Gallego et al., 2016).

Asimismo, se realizaron mediciones antes y después de los vertimientos, teniendo en cuenta el tiempo de retención, para evaluar los parámetros de pH, oxígeno disuelto (mg/L), turbidez (NTU), conductividad (µS/cm) y potencial óxido de reducción (mV). Estos parámetros fueron las variables de respuesta para determinar la eficiencia del método y se midieron con un multiparámetro Hach HQ 40d. Adicionalmente, se tomaron medidas de las plantas sometidas al contaminante (humedal A) y de las que no (humedal B) con una cinta métrica, para evidenciar el efecto del contaminante en el crecimiento de las plantas (Maguiña-Castillo, 2017).

### 3.5 Análisis de datos

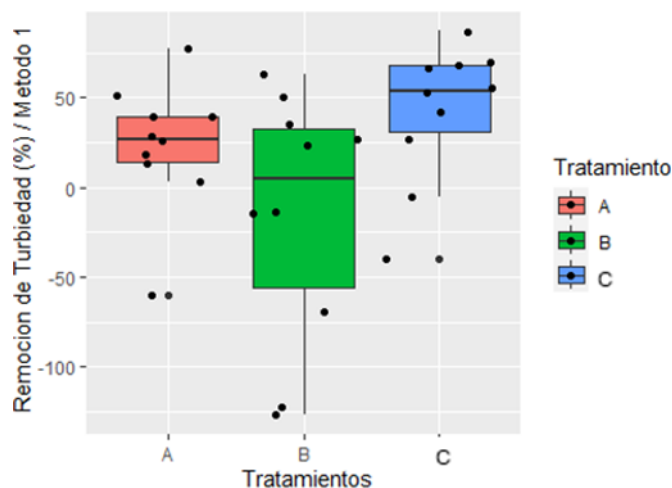
Para evaluar cada uno de los tratamientos con respecto a la remoción del contaminante, se corroboró si las variables cumplían con los supuestos de normalidad necesarios para un análisis de varianza. Para ello, se realizó una prueba de Shapiro Wilk y una prueba de Levene (Levene, 1960; Shapiro & Wilk, 1965). Como no se obtuvo una normalidad en los datos, se realizaron pruebas no paramétricas de Kruskal Wallis y Wilcoxon, para determinar diferencias significativas entre las variables analizadas (Kruskal et al., 1952; Wilcoxon, 1945). Todos estos análisis se elaboraron con R-projec (Team, 2021).

## 4. RESULTADOS

En el método 1 se obtuvieron diferencias significativas (DS) entre los tratamientos con respecto al porcentaje de remoción de turbiedad (p-valor = 0.04856). Sin embargo, con la prueba de Wilcoxon no se hallaron diferencias, pero con las medias, el tratamiento C demostró ser el más eficiente (42,4 ± 38,8%) y el B el menos eficiente (-15 ± 69,4%) (Tablas 1 y 2, Figura 3).

**Tabla 1.** Test de Wilcoxon en el método 1 para los tratamientos (A, B y C) y variables (Remoción de turbiedad, SDT y Conductividad) que presentaron diferencias significativas con la prueba de Kruskal Wallis.

		A	B
% Remoción Turbiedad	B	0.29	N.A.
	C	0.29	0.07
SDT	B	0.00042	N.A.
	C	0.00853	0.48232
Conductividad	B	0.0075	N.A.
	C	0.0224	0.6031



**Figura 3.** Promedio del porcentaje de remoción de turbiedad que presentó diferencia significativa en el método 1, según los tratamientos A (humedal con plantas y el contaminante a una concentración específica), B (testigo de las plantas) y C (testigo del contaminante a una concentración puntual).

Las variables de remoción de turbiedad, DQO y color en el método 1, considerando los parámetros independientes de concentración y tiempos de retención (Tr), no presentaron significancia estadística. El tratamiento con mejores condiciones para la remoción de DQO fue el A con un 42,6 ± 18%; aunque en el tratamiento C se obtuvo una remoción de 22,9 ± 26,5% (Tabla 2). En el caso de la remoción de color, el tratamiento con mejores características fue el C, con un valor medio de 23,2 ± 18,3%, cercano al promedio del tratamiento A de 18 ± 14,4% (Tabla 2). Por otro lado, la remoción de turbiedad, dada por las características de los humedales, fue más efectiva a medida que se aumentaba la concentración de contaminante, obteniendo la concentración al 2% los valores más altos de este parámetro con un 36,4 ± 32% (Tabla 2). Mientras que, con concentraciones de 0,5%, para la remoción de DQO, se observó un mejor resultado con una media de 36,7 ± 23,2% (Tabla 2). La concentración más conveniente para la remoción del color fue 0,5% con un promedio de 22,7 ± 18,9% (Tabla 2).

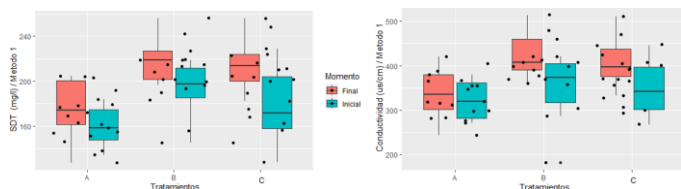
El tiempo de retención (Tr) mostró tener una relación directa con los promedios de las remociones de turbiedad, DQO y color, observándose diferencias en los Tr de 3 y 4 días para la remoción de la turbiedad con un aumento de 156% (Tabla 2). Las mejores reducciones se presentaron con un tiempo de retención de 4 días, con porcentajes de 24,4 ± 64,3%, 36,3 ± 26,32% y 25,8 ± 17,2% para la remoción de turbiedad, DQO y color, respectivamente (Tabla 2).

**Tabla 2.** Media y desviación estándar en todas las variables analizadas en el método 1 (divididas en remociones, variables físicas y biológicas), teniendo en cuenta el Momento, los tratamientos, las concentraciones aplicadas del contaminante y los tiempos de retención (Tr).

Tratamiento	Momento	Remoción (%)				Variables físicas						Variable biológica
		% Remoción T	% Remoción DQO	% Remoción Color	REDOX (mv)	SDT (mg/l)	Conductividad (us/cm)	pH	O2 (mg/l)	Altura Planta		
<b>A</b>	<b>Final</b>	23,5 ± 36	42,6 ± 18,1	18 ± 14,4	183,8 ± 20,7	176,1 ± 25,43	339,1 ± 55,29	6,49 ± 0,23	6,26 ± 0,594	49,6 ± 6,99		
	<b>Inicial</b>	N.A	N.A	N.A	189,7 ± 27,3	159,1 ± 17,28	321,1 ± 41,57	6,65 ± 0,15	6,02 ± 0,395	42,3 ± 10,9		
	<b>Final</b>	-15 ± 69,4	N.A	N.A	180,3 ± 18,6	219,4 ± 19,91	422 ± 52,15	6,51 ± 0,16	6,37 ± 1,008	46,8 ± 20,9		
	<b>Inicial</b>	N.A	N.A	N.A	191,2 ± 23,8	192,3 ± 24,95	351,3 ± 74,33	6,61 ± 0,16	6,18 ± 1,241	36,9 ± 17,3		
<b>B</b>	<b>Final</b>	42,4 ± 38,8	22,9 ± 26,5	23,2 ± 18,3	193 ± 17	215,1 ± 23,8	409,3 ± 52,8	6,42 ± 0,13	6,64 ± 0,394	N.A	N.A	
	<b>Inicial</b>	N.A	N.A	N.A	195,3 ± 17,8	178,2 ± 32,3	349,5 ± 60,6	6,51 ± 0,2	6,28 ± 0,601	N.A	N.A	
	<b>Final</b>	-15 ± 69,4	N.A	N.A	180,3 ± 18,6	219,4 ± 19,91	422 ± 52,15	6,51 ± 0,16	6,37 ± 1,008	46,8 ± 20,9		
	<b>Inicial</b>	N.A	N.A	N.A	191,2 ± 23,8	192,3 ± 24,95	351,3 ± 74,33	6,61 ± 0,16	6,18 ± 1,241	36,9 ± 17,3		
<b>C</b>	<b>Final</b>	42,4 ± 38,8	22,9 ± 26,5	23,2 ± 18,3	193 ± 17	215,1 ± 23,8	409,3 ± 52,8	6,42 ± 0,13	6,64 ± 0,394	N.A	N.A	
	<b>Inicial</b>	N.A	N.A	N.A	195,3 ± 17,8	178,2 ± 32,3	349,5 ± 60,6	6,51 ± 0,2	6,28 ± 0,601	N.A	N.A	
	<b>Final</b>	-15 ± 69,4	N.A	N.A	180,3 ± 18,6	219,4 ± 19,91	422 ± 52,15	6,51 ± 0,16	6,37 ± 1,008	46,8 ± 20,9		
	<b>Inicial</b>	N.A	N.A	N.A	191,2 ± 23,8	192,3 ± 24,95	351,3 ± 74,33	6,61 ± 0,16	6,18 ± 1,241	36,9 ± 17,3		
<b>0%</b>	<b>Final</b>	30,67 ± 42,4	36,9 ± 23,2	22,67 ± 18,9	177,6 ± 15,4	179,8 ± 25,81	340,2 ± 48,05	6,54 ± 0,18	6,65 ± 0,334	47,1 ± 6,73		
	<b>Inicial</b>	N.A	N.A	N.A	187,5 ± 24,7	160,3 ± 29,22	315,1 ± 51,29	6,62 ± 0,19	6,13 ± 0,636	36,6 ± 8,71		
	<b>Final</b>	36,38 ± 31,9	27 ± 26,5	17,5 ± 11,6	204,5 ± 10,7	219,4 ± 22,89	425,2 ± 49,43	6,33 ± 0,11	6,13 ± 0,627	52 ± 6,76		
	<b>Inicial</b>	N.A	N.A	N.A	200 ± 17,9	181,1 ± 18,61	365,7 ± 40,36	6,51 ± 0,17	6,19 ± 0,275	51,5 ± 7,4		
<b>2%</b>	<b>Final</b>	9,533 ± 43,3	29,9 ± 22,9	15,4 ± 14,2	188,1 ± 12,6	199,1 ± 27,73	379,7 ± 60,12	6,44 ± 0,14	6,43 ± 0,839	N.A ± N.A		
	<b>Inicial</b>	N.A	N.A	N.A	183,8 ± 18,7	179,6 ± 30,11	352,9 ± 54,43	6,59 ± 0,14	6,19 ± 0,674	N.A ± N.A		
	<b>Final</b>	24,4 ± 64,3	36,3 ± 26,3	25,8 ± 17,2	183,7 ± 23,7	206,6 ± 32,51	397,8 ± 67,5	6,5 ± 0,21	6,41 ± 0,555	N.A ± N.A		
	<b>Inicial</b>	N.A	N.A	N.A	204,5 ± 23	171,8 ± 25,94	322,2 ± 65,28	6,6 ± 0,22	6,11 ± 1,004	N.A ± N.A		
<b>3</b>	<b>Final</b>	9,533 ± 43,3	29,9 ± 22,9	15,4 ± 14,2	188,1 ± 12,6	199,1 ± 27,73	379,7 ± 60,12	6,44 ± 0,14	6,43 ± 0,839	N.A ± N.A		
	<b>Inicial</b>	N.A	N.A	N.A	183,8 ± 18,7	179,6 ± 30,11	352,9 ± 54,43	6,59 ± 0,14	6,19 ± 0,674	N.A ± N.A		
	<b>Final</b>	24,4 ± 64,3	36,3 ± 26,3	25,8 ± 17,2	183,7 ± 23,7	206,6 ± 32,51	397,8 ± 67,5	6,5 ± 0,21	6,41 ± 0,555	N.A ± N.A		
	<b>Inicial</b>	N.A	N.A	N.A	204,5 ± 23	171,8 ± 25,94	322,2 ± 65,28	6,6 ± 0,22	6,11 ± 1,004	N.A ± N.A		
<b>4</b>	<b>Final</b>	9,533 ± 43,3	29,9 ± 22,9	15,4 ± 14,2	188,1 ± 12,6	199,1 ± 27,73	379,7 ± 60,12	6,44 ± 0,14	6,43 ± 0,839	N.A ± N.A		
	<b>Inicial</b>	N.A	N.A	N.A	183,8 ± 18,7	179,6 ± 30,11	352,9 ± 54,43	6,59 ± 0,14	6,19 ± 0,674	N.A ± N.A		
	<b>Final</b>	24,4 ± 64,3	36,3 ± 26,3	25,8 ± 17,2	183,7 ± 23,7	206,6 ± 32,51	397,8 ± 67,5	6,5 ± 0,21	6,41 ± 0,555	N.A ± N.A		
	<b>Inicial</b>	N.A	N.A	N.A	204,5 ± 23	171,8 ± 25,94	322,2 ± 65,28	6,6 ± 0,22	6,11 ± 1,004	N.A ± N.A		
<b>Tr (días)</b>	<b>Momento</b>											
	<b>Final</b>	-15 ± 69,4	N.A	N.A	180,3 ± 18,6	219,4 ± 19,91	422 ± 52,15	6,51 ± 0,16	6,37 ± 1,008	46,8 ± 20,9		
	<b>Inicial</b>	N.A	N.A	N.A	191,2 ± 23,8	192,3 ± 24,95	351,3 ± 74,33	6,61 ± 0,16	6,18 ± 1,241	36,9 ± 17,3		
	<b>Final</b>	30,67 ± 42,4	36,9 ± 23,2	22,67 ± 18,9	177,6 ± 15,4	179,8 ± 25,81	340,2 ± 48,05	6,54 ± 0,18	6,65 ± 0,334	47,1 ± 6,73		
<b>0,5%</b>	<b>Final</b>	36,38 ± 31,9	27 ± 26,5	17,5 ± 11,6	204,5 ± 10,7	219,4 ± 22,89	425,2 ± 49,43	6,33 ± 0,11	6,13 ± 0,627	52 ± 6,76		
	<b>Inicial</b>	N.A	N.A	N.A	200 ± 17,9	181,1 ± 18,61	365,7 ± 40,36	6,51 ± 0,17	6,19 ± 0,275	51,5 ± 7,4		
	<b>Final</b>	9,533 ± 43,3	29,9 ± 22,9	15,4 ± 14,2	188,1 ± 12,6	199,1 ± 27,73	379,7 ± 60,12	6,44 ± 0,14	6,43 ± 0,839	N.A ± N.A		
	<b>Inicial</b>	N.A	N.A	N.A	183,8 ± 18,7	179,6 ± 30,11	352,9 ± 54,43	6,59 ± 0,14	6,19 ± 0,674	N.A ± N.A		
<b>2%</b>	<b>Final</b>	24,4 ± 64,3	36,3 ± 26,3	25,8 ± 17,2	183,7 ± 23,7	206,6 ± 32,51	397,8 ± 67,5	6,5 ± 0,21	6,41 ± 0,555	N.A ± N.A		
	<b>Inicial</b>	N.A	N.A	N.A	204,5 ± 23	171,8 ± 25,94	322,2 ± 65,28	6,6 ± 0,22	6,11 ± 1,004	N.A ± N.A		
	<b>Final</b>	9,533 ± 43,3	29,9 ± 22,9	15,4 ± 14,2	188,1 ± 12,6	199,1 ± 27,73	379,7 ± 60,12	6,44 ± 0,14	6,43 ± 0,839	N.A ± N.A		
	<b>Inicial</b>	N.A	N.A	N.A	183,8 ± 18,7	179,6 ± 30,11	352,9 ± 54,43	6,59 ± 0,14	6,19 ± 0,674	N.A ± N.A		

Algunas variables físicas en el método 1 no presentaron diferencias significativas (DS) en relación con los diferentes tratamientos; tal es el caso del REDOX, pH y oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>), donde estas variables permanecieron muy estables entre los promedios de los diferentes tratamientos y momentos, estando en un rango de 180,3 ± 18,6 mV y 195,3 ± 17,8 mV, 6,42 ± 0,1 y 6,65 ± 0,1, y 6,02 ± 0,4 mg/L y 6,64 ± 0,4 mg/L, respectivamente (Tabla 1). Las variables que presentaron DS con los diferentes tratamientos fueron los sólidos disueltos totales (SDT) (p-valor = 0.0004389) y la conductividad (p-valor = 0.004853); para estos dos parámetros se presentaron diferencias entre los mismos humedales, como A y B (0.00042 y 0.0075, respectivamente), al igual que entre A y C (0.00853 y 0.0224, respectivamente), lo cual se relaciona con los mayores valores de SDT y conductividad en los tratamientos B y C (Tabla 1). En todos los humedales se presentó un aumento de SDT y conductividad, siendo el C (21%) y B (20%) los que más incrementaron, respectivamente (Tabla 2 y Figura 2).

Casi todas las variables físicas del método 1 presentaron DS cuando se analizaron teniendo en cuenta la concentración; no obstante, la única que no presentó diferencias, aun considerando los promedios, fue el oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>) (Tabla 2). El REDOX, SDT, conductividad y pH presentaron un p-valor respectivo de 0.0024, 0.00057, 0.0004 y 0.03. El REDOX presentó significancia estadística entre la relación de las concentraciones de 2% y 0% (0.0184), al igual que entre 2% y 0.5% (0.0025), lo cual se corrobora con el promedio de la concentración al 2%, que fue mayor que las demás concentraciones, presentando un aumento de 2.25% del momento inicial al final. Los SDT mostraron DS entre la relación de las concentraciones de 0.5% y 0% (p-valor = 0.0018), y 2% (p-valor = 0.0051); esta diferencia se confirma con los mayores valores promedios de las concentraciones al 0% y 2% frente a la de 0.5%, en donde todas las diluciones del contaminante presentaron aumentos, siendo el mayor la del 2% con un 21% de incremento (Tablas 2 y 3). De igual forma, se observó significancia estadística entre concentraciones de 0.5% y 0% (p-valor = 0.00307), y entre 0.5% y 2% (p-valor = 0.00089), con respecto a la conductividad. Las concentraciones de 0% y 2% también tuvieron mayores valores promedios que la de 0.5%, presentando todas las diluciones un incremento, siendo el mayor el obtenido al 0% con un 20% de aumento. Finalmente, el pH no presentó significancia estadística en las diferentes concentraciones con la prueba de Wilcoxon (Figura 3 y Tablas 2 y 3).

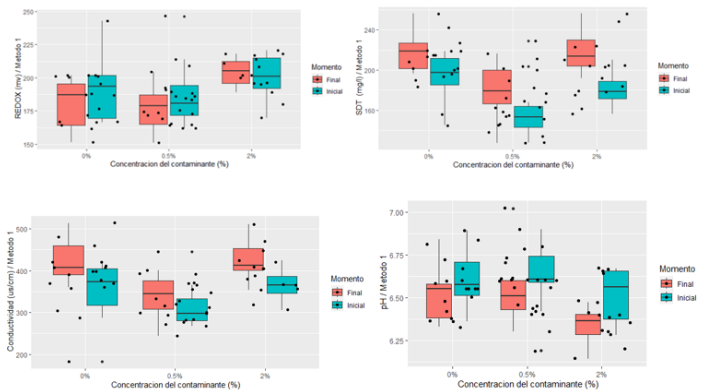


**Figura 4.** Promedios de SDT y Conductividad de los tratamientos A (humedal con plantas y el contaminante a una concentración específica), B (testigo de las plantas) y C (testigo del contaminante a una concentración puntual) en el método 1; teniendo en cuenta los momentos iniciales y finales

**Tabla 3.** Test de Wilcoxon para las variables (REDOX, SDT, Conductividad, pH y altura de las plantas) que presentaron diferencias significativas con la

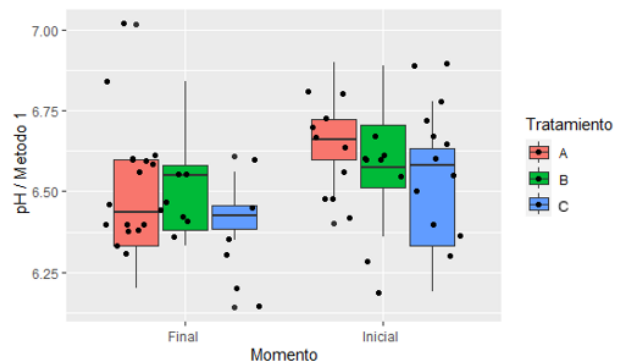
prueba de Kruskal Wallis aplicada a la concentración del contaminante al 0%, 0.5% y 2% en el método 1.

		0%	0.5%
<b>REDOX</b>	<b>0.5%</b>	0.5489	N.A.
	<b>2%</b>	0.0184	0.0025
<b>SDT</b>	<b>0.5%</b>	0.0018	N.A.
	<b>2%</b>	0.5077	0.0051
<b>Conductividad</b>	<b>0.5%</b>	0.00307	N.A.
	<b>2%</b>	0.93399	0.00089
<b>pH</b>	<b>0.5%</b>	0.49	N.A.
	<b>2%</b>	0.06	0.06
<b>Altura Planta</b>	<b>0.5%</b>	0.92	N.A.
	<b>2%</b>	0.03	0.000013



**Figura 5.** Promedio de variables físicas (REDOX, SDT, Conductividad y pH) que presentaron, en el método 1, significancia estadística con las diferentes concentraciones del contaminante (0%, 0.5% y 2%), teniendo presente los momentos iniciales y finales.

Por otro lado, los tiempos de retención (Tr) no presentaron diferencias significativas (DS) con las variables físicas analizadas. Teniendo en cuenta los promedios de estas variables, se revela que tanto el pH como el oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>) no presentaron variaciones considerables (Tabla 2). Los sólidos disueltos totales (SDT) y la conductividad aumentaron con los Tr y del momento inicial al final (Tabla 2). Finalmente, el REDOX presentó un pequeño incremento entre el momento inicial y final con un Tr de 3 días, y una disminución del 10% con un Tr de 4 días (Tabla 2). Las variables físicas que presentaron DS en relación con el momento inicial y final fueron los SDT, la conductividad y el pH, con un p-valor correspondiente de 0.0022, 0.0083 y 0.0041, respectivamente. Además, se revela que el pH disminuye levemente en todos los tratamientos, siendo el más estable el tratamiento B (Figuras 4 y 6).



**Figura 6.** Promedio del pH en el método 1 analizando según el momento inicial y final, y los tratamientos A (humedal con plantas y el contaminante a una concentración puntual) en el método 1; teniendo en cuenta los momentos iniciales y finales

una concentración específica), B (testigo de las plantas) y C (testigo del contaminante a una concentración puntual).

Solo se tuvo en cuenta una variable biológica en el método 1, la cual fue la altura de cada planta. Según los promedios, las plantas tuvieron un crecimiento del 16% y 27% para los humedales A y B, respectivamente (Tabla 2). La altura de las plantas presentó un p-valor de 0.0012 en relación con las concentraciones del contaminante, donde la concentración al 2% y 0% (p-valor = 0.03), y también la dilución al 2% y 0.5% (p-valor = 0.000013) presentan DS (Tabla 3). A pesar de que las plantas pudieron crecer en presencia de las diferentes concentraciones del contaminante y que la altura promedio de las plantas al 2% fue la mayor, esta última concentración tuvo el menor incremento en la talla de las plantas con un 1% (Tablas 2 y 3). Por otro lado, la concentración al 0.5% tuvo un efecto en el crecimiento de las plantas (22%) levemente superior a la concentración de 0% (Tabla 1).

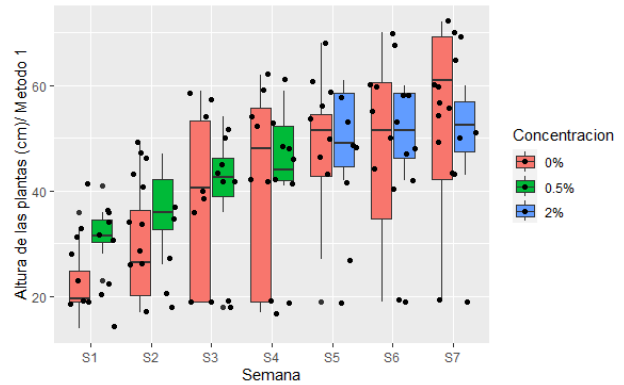
Se presentaron diferencias significativas entre la altura de las plantas y las semanas en el método 1, con un p-valor de 0.0017. La semana 1 mostró diferencias con las semanas 4, 5, 6 y 7, con un p-valor respectivo de 0.0211, 0.0026, 0.0033 y 0.0029. De igual manera, en la semana 2 se halló significancia estadística con las semanas 5, 6 y 7, con un p-valor correspondiente de 0.0163, 0.0211 y 0.0094 (Tabla 5). El mayor crecimiento promedio de las plantas se presentó de la semana 2 a la 3 (20%) y el menor crecimiento de la semana 5 a la 6 (2%). Adicionalmente, se nota el crecimiento sostenido de las plantas en concentraciones de 0%, y el poco progreso en el crecimiento de las plantas de la semana 3 a la 7 bajo las concentraciones de 0.5% y 2% (Tabla 4 y Figuras 5 y 7).

**Tabla 4.** Media y desviación estándar de la altura de las plantas en los humedales A y B teniendo en cuenta las diferentes semanas del método 1.

Semana	Altura Planta
1	27,38 ± 7,96
2	33,13 ± 10,27
3	39,63 ± 14,03
4	44,06 ± 14,42
5	48,87 ± 12,69
6	49,44 ± 14,64
7	52,31 ± 15,72

**Tabla 5.** Test de wilcoxon aplicado a la altura de las plantas en los diferentes humedales (A y B) y las semanas de aplicación del método 1.

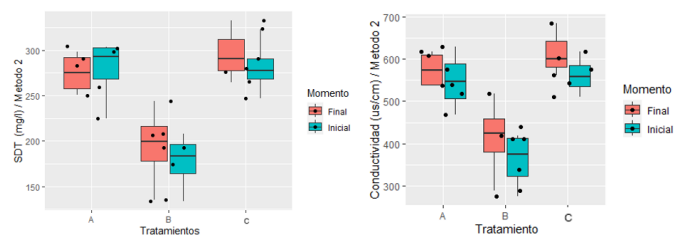
Semana	Altura Planta					
	1	2	3	4	5	6
2	1	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
3	0.1413	1	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
4	0.0211	0.2096	1	N.A.	N.A.	N.A.
5	0.0026	0.0163	0.4342	1	N.A.	N.A.
6	0.0033	0.0211	0.3958	1	1	N.A.
7	0.0029	0.0094	0.1413	0.5318	1	1



**Figura 7.** Promedio de la altura de las plantas en los humedales A (concentración al 0.5 y 2%) y B (concentración al 0%) según las semanas del método 1 y las diferentes concentraciones.

Los parámetros de remoción de turbiedad, DQO y color no presentaron diferencias significativas (DS) en el método 2. El tratamiento con mejores resultados en cuanto a la remoción de la turbiedad fue el C con un  $51,7 \pm 13,6\%$ , y el menos efectivo fue el B con un valor de  $34,7 \pm 1,2\%$  (Tabla 6). Por otro lado, el humedal más eficiente para la reducción de la DQO fue el A, con un promedio de  $40,8 \pm 13,7\%$ , y el menos favorable fue el B con  $11,3 \pm 24,5\%$  (Tabla 6). Finalmente, los tratamientos A ( $45,5 \pm 7,3\%$ ) y C ( $23,3 \pm 21,6\%$ ) fueron, respectivamente, el más y el menos conveniente para la eliminación del color (Tabla 6).

Las variables físicas que presentaron significancia estadística con los diferentes tratamientos fueron los sólidos disueltos totales (SDT) y la conductividad, con un p-valor respectivo de 0.00068 y 0.00082. Los humedales que presentaron diferencias en los SDT y la conductividad fueron el B y A (con un p-valor igual de 0.004), y de igual manera el B y C (con un p-valor respectivo de 0.004 y 0.0043). Esto se constata con los promedios superiores de los parámetros en los humedales A y C, donde también se observa el aumento general de las variables del momento inicial al final, a excepción de los SDT en el tratamiento A, el cual presenta una leve disminución del 1.3% (Figura 6, y Tablas 6 y 7). El humedal que presentó un mayor aumento en SDT y conductividad fue el B con un 10% y 15%, respectivamente (Tabla 6). Por otro lado, las variables físicas que no presentaron DS fueron el REDOX, pH y oxígeno disuelto ( $O_2$ ), donde los tratamientos que presentaron mejores reducciones fueron C (16%), A (5%) y A (2%), respectivamente. Aunque en el caso del pH y oxígeno disuelto también se presentaron incrementos en los humedales B (1.21%), C (10.5%) y B (8%), respectivamente (Tabla 6).



**Figura 8.** Promedio de las variables físicas, SDT y conductividad, que presentaron significancia estadística en el método 2, junto con los tratamientos A (humedal con plantas y el contaminante a una concentración específica), B (testigo de las plantas) y C (testigo del contaminante a una concentración puntual), y teniendo presente los momentos iniciales y finales.

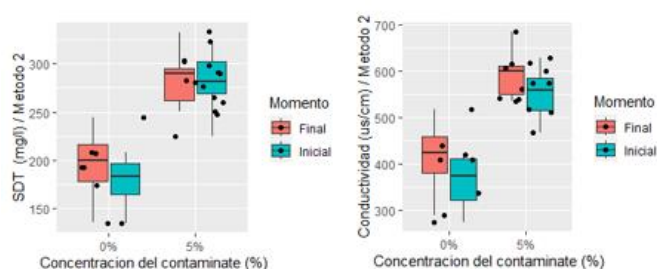
**Tabla 6.** Media y desviación estándar en todas las variables analizadas en el método 2 (divididas en remociones, variables físicas y biológicas), teniendo en cuenta el Momento, los tratamientos y las concentraciones aplicadas del contaminante.

Tratamiento	Momento	Remocion (%)					Variable físicas							Variables biológicas		
		% Remocion T	% Remocion DOO	% Remocion Color	REDOX(mv)	SDI (mg/l)	Conductividad (us/cm)	pH	O2 (mg/l)	Altura Planta	Ejes Planta	Ejes Planta				
A	Final	37,5 ± 12,2	40,8 ± 13,7	45,5 ± 7,3	189,7 ± 13,7	274,8 ± 23,1	575,2 ± 43,2	6,3 ± 0,3	5,5 ± 0,6	53,0 ± 7,6	7 ± 1,1					
	Inicial	N/A	N/A	N/A	213,1 ± 17,4	278,5 ± 37,3	547,2 ± 69,5	6,6 ± 0,2	5,6 ± 0,5	52,5 ± 6,7	6 ± 1,1					
B	Final	34,7 ± 1,2	11,3 ± 2,45	24,7 ± 50,1	186,5 ± 6,0	194,5 ± 45,3	414,0 ± 95,0	6,7 ± 0,2	6,2 ± 0,6	47,0 ± 29,8	8 ± 6,9					
	Inicial	N/A	N/A	N/A	201,3 ± 20,1	177,1 ± 31,9	360,5 ± 67,5	6,6 ± 0,1	5,8 ± 0,6	47,5 ± 26,6	7 ± 5,8					
D	Final	51,7 ± 13,6	31,3 ± 22,5	23,3 ± 21,6	194,3 ± 13,6	296,3 ± 34,3	615,7 ± 63,3	6,3 ± 0,2	6,2 ± 0,3	N/A	N/A	N/A	N/A			
	Inicial	N/A	N/A	N/A	231,5 ± 39,5	281,5 ± 31,3	561,3 ± 45,4	6,6 ± 0,3	5,6 ± 0,4	N/A	N/A	N/A	N/A			
<b>Concentracion Momento</b>																
0%	Final	34,7 ± 1,2	11,3 ± 2,45	24,7 ± 50,1	186,5 ± 6,0	194,5 ± 45,3	414,0 ± 95,0	6,7 ± 0,2	6,2 ± 0,6	47,0 ± 29,8	8,4 ± 6,9					
	Inicial	N/A	N/A	N/A	201,3 ± 20,1	177,1 ± 31,9	360,5 ± 67,5	6,6 ± 0,1	5,8 ± 0,6	47,8 ± 26,3	7,3 ± 5,7					
5%	Final	43,6 ± 13,9	36,7 ± 17,0	36,0 ± 18,0	191,7 ± 12,7	284,0 ± 28,1	592,6 ± 52,3	6,3 ± 0,2	5,8 ± 0,6	53,0 ± 7,6	7,0 ± 1,1					
	Inicial	N/A	N/A	N/A	222,3 ± 30,0	280,0 ± 31,9	554,2 ± 54,9	6,6 ± 0,2	5,6 ± 0,4	51,5 ± 13,1	6,4 ± 2,8					



**Tabla 7.** Test de Wilcoxon para las variables SDT y conductividad las cuales presentaron diferencias significativas en el método 2 con la prueba de Kruskal Wallis aplicada a los tratamientos A (humedal con plantas y el contaminante a una concentración específica), B (testigo de las plantas) y C (testigo del contaminante a una concentración puntual).

	A	B
SDT	B 0.004	N.A.
	C 0.779	0.004
Conductividad	B 0.0040	N.A.
	C 0.5625	0.0043



**Figura 9.** Promedio de variables físicas (SDT y Conductividad) que presentaron, en el método 2, significancia estadística con las diferentes concentraciones del contaminante al 0% y 5%, teniendo presente los momentos iniciales y finales.

De igual manera, las variables físicas que presentaron diferencias significativas (DS) en relación con las concentraciones de 0% y 5% fueron los sólidos disueltos totales (SDT) (p-valor = 0.00014) y la conductividad (p-valor = 0.00018). Se hacen evidentes las diferencias entre los promedios de estos dos parámetros; los SDT a diluciones de 5% varían entre  $280 \pm 31,9$  mg/L y  $284 \pm 28,1$  mg/L (aumento de 1.4%), y al 0% oscilan entre  $177,1 \pm 31,9$  mg/L y  $194,5 \pm 45,3$  mg/L (incremento de 10%). Asimismo, la conductividad en concentraciones de 5% presenta valores entre  $554,2 \pm 54,9$   $\mu$ S/cm y  $592,6 \pm 52,3$   $\mu$ S/cm (con un aumento de 7%), y al 0% promedios de  $360,5 \pm 67,5$   $\mu$ S/cm y  $414,0 \pm 95,0$   $\mu$ S/cm (crecimiento de 15%) (Figuras 7 y 9, y Tabla 6). Los parámetros restantes que no presentaron significancia estadística obtuvieron algunas diferencias en sus promedios. En el caso del REDOX, se observó una disminución en la dilución al 5% (14%) y al 0% (7%). Por su parte, el pH alcanzó un incremento en la concentración de 0% (1.2) y una disminución al 5% (4.5%). Por último, el oxígeno disuelto ( $O_2$ ) logró un aumento de 8% y 3.4% en las disoluciones de 0% y 5%, respectivamente (Tabla 6).

Ninguna de las dos variables biológicas, altura y ejes de las plantas, obtuvieron DS con los tratamientos (A y B) y las concentraciones (0% y 5%) del método 2. La altura promedio en el humedal A ( $52,5 \pm 6,7$  cm y  $53,0 \pm 7,6$  cm) fue superior a la del humedal B ( $47,5 \pm 26,6$  cm y  $47,0 \pm 29,8$  cm), con un crecimiento y decrecimiento respectivo de 1% (Tabla 6). Por otro lado, el número de ejes medios en los tratamientos B ( $7,4 \pm 5,8$  y  $8,4 \pm 6,9$ ) y A ( $6,1 \pm 1,1$  y  $7 \pm 1,1$ ) aumentaron 13.5% y 14.8%, respectivamente (Tabla 6).

Las plantas sometidas a la concentración de 5% obtuvieron una mayor altura que las sometidas a diluciones de 0%, con medias que oscilaban entre el momento inicial y final,

respectivamente, de  $51,5 \pm 13,1$  cm y  $53,0 \pm 7,6$  cm (incremento del 3%), y  $47,8 \pm 26,3$  cm y  $47,0 \pm 29,8$  cm (disminución del 1.8%) (Tabla 6). Los números de ejes por planta incrementaron en las dos concentraciones, presentándose un mayor número en concentraciones de 0% ( $7,3 \pm 5,7$  y  $8,4 \pm 6,9$ ) y un menor número de ejes a 5% ( $6,4 \pm 2,8$  y  $7,0 \pm 1,1$ ), con aumentos correspondientes de 14% y 9% (Tabla 6).

La altura promedio de las plantas tendió a disminuir en un 4% de la semana 8 a la 12 ( $51 \pm 18,4$  cm hasta  $49 \pm 21,2$  cm) y obtuvo un leve aumento de 2% entre la semana 12 y la 13 ( $49 \pm 21,2$  cm a  $50 \pm 21,3$  cm) (Tabla 8). Por otro lado, los ejes de las plantas fueron propensos a incrementar (33%) de la semana 8 a la 13, con una media inicial y final de  $6 \pm 3,5$  y  $8 \pm 4,9$  (Tabla 8).

**Tabla 8.** Media y desviación estándar para las variables biológicas (Altura de las plantas y número de ejes) dividido por las semanas de aplicación del método 2.

Semana	Altura Planta	Ejes Planta
8	$51 \pm 18,4$	$6 \pm 3,5$
9	$51 \pm 18,1$	$6 \pm 3,7$
10	$50 \pm 21,0$	$7 \pm 4,2$
11	$49 \pm 20,7$	$7 \pm 4,6$
12	$49 \pm 21,2$	$7 \pm 5,2$
13	$50 \pm 21,3$	$8 \pm 4,9$

## 5. DISCUSIÓN

En el presente estudio se determinó la eficiencia de *E. elegans* en el mejoramiento de las características del agua coloreada provenientes de floricultivos, mediante la medición de diferentes variables fisicoquímicas. También se tuvieron en cuenta parámetros biológicos que ayudaron a determinar la afectación del contaminante en la salud de las plantas. La mayoría de las variables se consideraron en la aplicación de los dos métodos propuestos. Con estos métodos se logró una remoción cercana al 50% en la DQO y el color.

La DQO es un parámetro que se suele usar para evaluar la calidad del agua, especialmente residual, ya que indica el contenido de materia orgánica en el agua que se puede oxidar, pudiendo afectar otros parámetros, la vida acuática y la salud humana (J. Li et al., 2018). El color y los elementos que lo componen suelen ser tóxicos para los organismos, y si el color es demasiado oscuro, podría bloquear la luz solar, afectando considerablemente a las comunidades biológicas (Ratna & Padhi, 2012).

Otros trabajos con humedales artificiales reportan mejores remociones de DQO, que van desde el 62% hasta el 97.4% (Bowmer, 1987; Hussein & Scholz, 2018; M. Li et al., 2011; Montoya et al., 2010). Asimismo, para el color o colorantes, las remociones reportadas estuvieron en un rango de 80.5% a 86% (Imron et al., 2019; Obando Arango & Villegas, 2018). Evidentemente, las reducciones logradas en otros estudios fueron muy superiores a las registradas en el presente trabajo; esto podría deberse a la afectación negativa del contaminante

en las plantas, que se evidenció a través de la reducción en crecimiento y número de ejes de estas. Dietz & Schnoor (2001) mencionan que la presencia de contaminantes orgánicos, nutrientes o metales puede afectar el aumento de la longitud del eje de las plantas, además de su capacidad para tratar los mismos elementos polucionantes.

El agua coloreada usada en el presente trabajo contenía metales pesados, los cuales pudieron interferir con la absorción de nutrientes esenciales, causar toxicidad en las plantas y afectar su crecimiento (Etim, 2012). Además, la sal presente en este fluido residual puede provocar estrés osmótico y toxicidad iónica en las plantas, lo que dificulta la incorporación de agua y nutrientes en su sistema, influyendo en su desarrollo, además de interferir con diversos procesos fisiológicos y bioquímicos (Ali et al., 2013; Sharma, 2021). Asimismo, los tensioactivos existentes pueden ser nocivos para el material vegetal al dificultar la absorción de líquido y nutrientes por medio de las raíces.

Adicionalmente se ha reportado que la variabilidad en términos de la eficiencia y remoción en los humedales artificiales puede estar influenciada por otro tipo de factores como el diseño, las condiciones operativas y las especies de plantas utilizadas. En este sentido Wang et al., (2023) encontró que los humedales artificiales que utilizaban coque como relleno electroconductor lograron una tasa de eliminación de la DQO del 74,9%, superando a los diseños tradicionales en un 14% y un 7,3%, respectivamente.

El tipo de planta como el *Cyperus alternifolius* en el tratamiento de aguas residuales domésticas dio como resultado una alta eficiencia de eliminación de varios contaminantes, lo que indica que la selección de plantas afecta significativamente al rendimiento del tratamiento (Qomariyah et al., 2022). Por otro lado, se han encontrado otras especies de plantas que cuentan con buenos porcentajes de remoción en cuanto a colorantes o tintes, como es el caso de *Phragmites australis* (Cav.) y *Lemna minor*, con remociones de 85 a 100% y 80%, respectivamente (Hussein & Scholz, 2018; Imron et al., 2019).

Complementariamente, otras investigaciones ponen de manifiesto una fuerte correlación entre la eficiencia hidráulica y la eliminación de la DQO, lo que sugiere que la optimización del diseño hidráulico puede mejorar los resultados del tratamiento (Idris et al., 2024). Si bien muchos CW consiguen eliminar de forma sustancial la DQO, factores como el diseño, las especies vegetales y el rendimiento hidráulico desempeñan un papel crucial a la hora de determinar su eficacia. Se necesita más investigación para estandarizar estos sistemas a fin de lograr un rendimiento óptimo en diferentes contextos.

En el método 1 se presentaron aumentos en los sólidos disueltos totales (SDT) y la conductividad. Esto posiblemente se debió a que en este primer método no se repuso el agua perdida por evapotranspiración, lo que permitió que las partículas presentes en el agua de los humedales se concentraran (Olmos-Márquez et al., 2020). Esta hipótesis se confirma con el método 2, donde sí se repuso el agua perdida por evapotranspiración, y en este caso los SDT y la

conductividad se mantuvieron relativamente estables. La remoción de turbiedad fue más efectiva en los humedales que no contaron con plantas. Esto pudo haber sucedido por el aumento de partículas orgánicas o sólidos suspendidos producidos por las mismas plantas, ya que estos pueden aumentar el valor de la turbiedad en el agua (Postolache et al., 2007). El pH obtuvo una disminución leve del momento inicial al final en todas las variables independientes, lo que también podría indicar la liberación de sustancias por las plantas, como metabolitos o sustancias ácidas (Olmos-Márquez et al., 2020; Reichenauer & Germida, 2008). Todos los valores de pH obtenidos indicaban tendencia a la neutralidad, lo que también fue reportado por Bowmer (1987) y Hussein & Scholz (2018) en trabajos relacionados con humedales artificiales como método de tratamiento de aguas residuales. Esta relativa neutralidad se atribuyó a las interacciones bioquímicas entre el agua residual con las plantas y microorganismos, la temperatura, y la precipitación y absorción de elementos en los humedales.

Bajo mayores tiempos de retención se evidenciaron aumentos en las remociones de turbiedad, DQO y color. Esto podría ocurrir por diversos motivos, como por ejemplo, si se presenta un incremento en el Tr, mayor sería el tiempo de exposición y contacto del contaminante con las plantas, los microorganismos presentes en la rizosfera y la atmósfera (a través del sistema de recirculación), y mayor tiempo de sedimentación para las partículas presentes en los humedales (Bulc & Ojstršek, 2008). Estos autores también obtuvieron una mayor reducción en la turbiedad (70%), DQO (45%) y color (70%) con el incremento hasta 12 horas del tiempo de retención. Etim (2012), en su trabajo con humedales artificiales, documentó un aumento en la remoción de turbiedad (89.5%), DQO (82.5%) y color (90.5%) con el incremento de Tr de 7 días. Otros autores como J. Li et al. (2018) y Saier & Trevors (2010), de igual modo, registraron aumentos en la remoción de contaminantes con Tr prolongados de hasta 7 días.

El oxígeno disuelto no presentó variaciones considerables en ninguna de las variables independientes, indicando estos valores una calidad de agua aceptable. Aunque los valores de oxígeno relativamente constantes fueron medidos en la superficie de los humedales sugieren que el oxígeno disuelto en el agua proviene en mayor medida de la transferencia con la atmósfera y el movimiento turbulento desde la bomba de impulsión, que del generado por el metabolismo vegetal. Esto es coherente debido a que los menores valores de oxígeno en un humedal artificial se encuentran dentro del lecho. Además, la mayoría de las referencias también reportan valores bajos de oxígeno al interior del sustrato (Butterworth et al., 2013; Montoya et al., 2010).

Por otro lado, los valores de Redox tendieron a permanecer constantes e indicaban un entorno oxidativo no muy alto, con una estimación promedio de 196 mV. Esto también podría indicar que las plantas no proporcionaban las cantidades de oxígeno aptas para generar un entorno lo suficientemente oxidativo para una degradación considerable del contaminante (Hussein & Scholz, 2018).

Uno de los mayores desafíos con respecto a la efectividad en la remoción de contaminantes mediante la fitorremediación podría ser la composición y variabilidad de los contaminantes, así como las especies vegetales utilizadas en los humedales artificiales. En algunos casos, la fitorremediación puede no ser adecuada para tratar contaminantes altamente tóxicos o persistentes (Etim, 2012). Además, la extrapolación de los resultados de un estudio de laboratorio o piloto a escala real puede ser problemática debido a las diferencias en las condiciones ambientales y operativas. Lo que funciona bien en un entorno controlado quizás no sería tan efectivo en un humedal a escala real debido a factores como la carga del contaminante, la humedad, el flujo de agua, la presencia de otros organismos, la tolerancia de las plantas a los contaminantes, la disponibilidad de agua, la luz solar, la temperatura, los nutrientes y un pH adecuado en el suelo (Dietz & Schnoor, 2001; Sharma, 2021). Además, la duración del estudio y el seguimiento a largo plazo son aspectos importantes que se podrían pasar por alto (Arthur et al., 2005). La fitorremediación puede ser un proceso lento, ya que depende del crecimiento de las plantas para la absorción y acumulación de contaminantes en sus tejidos (Sharma, 2021). Otra preocupación es la gestión de la biomasa resultante de este proceso de tratamiento, ya que algunas plantas pueden acumular contaminantes en sus tejidos sin degradarlos por completo (Pilon-Smits, 2005). Por lo tanto, un estudio que se centre únicamente en una ventana de tiempo limitada podría proporcionar una imagen incompleta de la eficacia real de la planta en cuestión.

Adicionalmente, se ha reportado que el tratamiento con plantas acuáticas logra un buen porcentaje de remoción de metales en aguas residuales. Burgos-Tapuy y Vallejo-Vallejo (2019) resaltan la capacidad de *E. elegans* para la absorción de aluminio. Diversas investigaciones han demostrado la efectividad del género *Eleocharis* en la remoción de metales, a pesar de la afectación negativa en su crecimiento (A.G. et al., 2017; Alderete-Suarez et al., 2019; Duim-Ferreira et al., 2019; Menezes et al., 2020; Sharma, 2021).

Los metales biodisponibles para la planta se absorben en las raíces a través de dos procesos: apoplástico (entre las paredes celulares) y simplástico (dentro de las células) (Sharma, 2021). Este tipo de contaminante ingresa a la raíz a través de la membrana celular y pueden formar complejos con moléculas como ácidos orgánicos, o los iones metálicos pueden ser quelados en el citosol (Alderete-Suarez et al., 2019; Sharma, 2021). Estos elementos se pueden inmovilizar en áreas como las vacuolas (Alderete-Suarez et al., 2019; Ali et al., 2013; Sharma, 2021). A bajas concentraciones, los metales y metaloides pueden conservarse en la raíz de las plantas (Alderete-Suarez et al., 2019; Menezes et al., 2020). Sin embargo, al aumentar las concentraciones, estos elementos pueden comenzar a transportarse a la parte aérea de la planta (como brotes, tallos y hojas) a través de la corriente de transpiración del xilema (Alderete-Suarez et al., 2019; Duim-Ferreira et al., 2019).

Además de los metales, las especies de este género podrían eliminar eficazmente la materia orgánica, sólidos en suspensión y otros contaminantes del agua al acumular estos

compuestos tóxicos en sus tejidos (Lakshmi et al., 2017). La capacidad de *E. elegans* para absorber y acumular metales pesados como el aluminio, junto con su potencial para tratar otros contaminantes, la convierte en una macrófita prometedoras para la remoción de metales en sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Estudios dirigidos a comprender mejor la interacción entre las plantas y los microorganismos en el proceso de fitorremediación podrían ayudar a mejorar la eficacia de la fitorremediación al optimizar las asociaciones planta-microorganismo (Sharma, 2021). La implementación y evaluación de plantas transgénicas en la fitorremediación podría ser una de las alternativas más prometedoras a evaluar, ya que se espera que el material vegetal pueda tener una mayor capacidad de acumulación y resistencia frente a los contaminantes (Arthur et al., 2005; Saier & Trevors, 2010). Finalmente, algunos aspectos a mejorar identificados en este estudio para su aplicación en próximos trabajos serían la filtración de la muestra de agua tomada para la medición de la turbiedad, la medición del oxígeno en el lecho o inmediatamente a la salida del sistema de recirculación, y el tratamiento con contaminantes menos tóxicos o metales que se adecuen mejor a las características de las plantas usadas.

## 6. CONCLUSIONES

La investigación sobre el tratamiento de aguas residuales coloreadas de floricultivos en el oriente antioqueño destaca la fitorremediación con humedales artificiales como una solución viable. Aunque se logró una remoción de alrededor del 50% en DQO y color, los resultados fueron inferiores a otros estudios, posiblemente debido a la afectación negativa de los diferentes compuestos del contaminante en las plantas, evidenciada en el crecimiento y número de ejes.

El desarrollo metodológico de este estudio resalta la importancia de considerar diversos factores que pueden influir en la eficacia de la fitorremediación, como la composición y variabilidad de los contaminantes, las condiciones ambientales y operativas, y la duración del estudio. Los resultados obtenidos sugieren que la fitorremediación con *E. elegans* tiene un potencial significativo para ser aplicada en el tratamiento de otros tipos de aguas residuales, siempre y cuando se optimicen las condiciones de operación y se seleccionen adecuadamente las especies vegetales.

Para futuras investigaciones, se recomienda una colaboración interdisciplinaria que permita mejorar la identificación de contaminantes y la selección de plantas adecuadas. Además, es fundamental implementar estudios a largo plazo y explorar el uso de plantas transgénicas, que podrían ofrecer una mayor capacidad de acumulación y resistencia frente a los contaminantes. Estos ajustes podrían contribuir a mejorar la eficacia de los humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales.

## REFERENCIAS

- A.G., N., Masayuki, S., & Koichiro S. (2017). Phytoremediation of Heavy Metal-Polluted Mine Drainage by *Eleocharis acicularis*. *An Indian Journal*, 13(1), 1–11. [www.tsijournals.com](http://www.tsijournals.com)
- Alderete-Suarez, B. M., Valles-Aragón, M. C., Canales-Reyes, S., Peralta-Pérez, M. D. R., & Orrantia-Borunda, E. (2019). Bioconcentración de pb, cd y as en biomasa de *eleocharis macrostachya* (Cyperaceae). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(Special Issue 3), 93–101. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.esp03.11>
- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals-Concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 13. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>
- Alvares-Lopez, J. diego, & Rojas-Rodas, F. (2019). Diseño y evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial, para el tratamiento de residuos líquidos químicos generados en el laboratorio de la universidad católica de oriente. Universidad católica de oriente.
- American Public Health Association. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington [ESTADOS UNIDOS], 23.
- Amin, M. M., Hashemi, H., Bovini, A. M., & Hung, Y. T. (2013). A review on wastewater disinfection. *International Journal of Environmental Health Engineering*, 2(1). <https://doi.org/10.4103/2277-9183.113209>
- Arthur, E. L., Rice, P. J., Rice, P. J., Anderson, T. A., Baladi, S. M., Henderson, K. L. D., & Coats, J. R. (2005). Phytoremediation - An overview. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24(2), 109–122. <https://doi.org/10.1080/07352680590952496>
- Benjumea-Hoyos, C. A., Giraldo Restrepo, S., & Gutiérrez Monsalve, J. (2024). Electro-Fenton method for dye removal of agro-industrial wastewater from flower production. *Advances in Environmental Technology*, 10(2), 118-130. DOI: 10.22104/aet.2024.6395.1750
- Luna, J.M. & Benjumea-Hoyos, C.A. Evaluación de la descomposición de imágenes digitales, para la estimación indirecta de la turbidez en muestras de agua de cuerpos naturales. *Bionatura.*, 2019, 4(2), pp. 861–871. DOI: 10.21931/RB/2019.04.02.8.
- Benjumea-Hoyos, C. A., Villada, A., & Castaño, J. D. (2020). Comportamiento de la estructura térmica y características morfológicas de un humedal de montaña tropical. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(171), 329-343. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1046>.
- Benjumea-Hoyos, C. A., Suárez-Segura, M. A., & Villabona-González, S. L. (2018). Variación espacial y temporal de nutrientes y total de sólidos en suspensión en la cuenca de un río de alta montaña tropical. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 42(165), 353-363. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.777>
- Benjumea-Hoyos, C.A. (2018). Determinación de coeficientes de degradación de materia orgánica en el río Negro (municipio de Rionegro, Colombia). *Bionatura*, 3(1), pp. 537–543. <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2018.03.01.10>
- Bowmer, K. H. (1987). Nutrient removal from effluents by an artificial wetland: influence of rhizosphere aeration and preferential flow studied using bromide and dye tracers. *Wat. Res.*, 21(5), 591–599.
- Bulc, T. G., & Ojstršek, A. (2008). The use of constructed wetland for dye-rich textile wastewater treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 155(1–2), 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.11.068>
- Burgos-Tapuy, I. A., & Vallejo-Vallejo, J. C. (2019). Determinación de la remoción de aluminio por la especie *eleocharis elegans* (junquillo) y su absorción en un humedal artificial mediante análisis de espectrofotometría de absorción atómica. Universidad estatal amazónica.
- Butterworth, E., Dotro, G., Jones, M., Richards, A., Onunkwo, P., Narroway, Y., & Jefferson, B. (2013). Effect of artificial aeration on tertiary nitrification in a full-scale subsurface horizontal flow constructed wetland. *Ecological Engineering*, 54, 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.01.034>
- CORNARE. (2012). Evaluación y zonificación de riesgos por avenida torrencial, inundación y movimiento en masa y dimensionamiento de procesos erosivos en el municipio de rionegro. In *Cornare y Gobernación de Antioquia* (Issue 5). [http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7130/1/LUZA\\_RDO-BUIATRIA-2017.pdf](http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7130/1/LUZA_RDO-BUIATRIA-2017.pdf)
- Correa-Villegas, D. (2023). Concepto Economico Oriente Antioqueño (p. 86). <https://coa.org.co/wp-content/uploads/2022/02/Concepto-Economico-2021-1.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.
- Demirbas, A., Edris, G., & Alalayah, W. M. (2017). Sludge production from municipal wastewater treatment in sewage treatment plant. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 39(10), 999–1006. <https://doi.org/10.1080/15567036.2017.1283551>
- Dietz, A. C., & Schnoor, J. L. (2001). Advances in phytoremediation. *Environmental Health Perspectives*, 109(1), 163–168. <https://doi.org/10.1289/ehp.01109s1163>
- Doğruel, S., & Orhon, D. (2021). Particle size distribution of chemical oxygen demand in industrial effluents: impact on effective filtration size and modelling of membrane bioreactors. *Journal of Chemical Technology and*

- Biotechnology, 96(7), 1777–1784. <https://doi.org/10.1002/jctb.6735>
- Duim-Ferreira, A., Gomes-Viana, D., Egreja-Filho, F. B., Ribeiro-Pires, F., Bonomo, R., Martins, L. F., Pinto-Nascimento, M. C., & Silva Cruz, L. B. (2019). Phytoremediation in flooded environments: Dynamics of barium absorption and translocation by *Eleocharis acutangula*. *Chemosphere*, 219, 836–844. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.074>
- Etim, E. E. (2012). Phytoremediation and Its Mechanisms: A Review. *International Journal of Environment and Bioenergy*, 2(3), 120–136.
- Fonnegra-Gómez, R., & Villa-Londoño, J. (2011). Plantas medicinales usadas en algunas veredas de municipios del altiplano del Oriente antioqueño, Colombia. *Actual Biol*, 33(95), 219–250. <https://doi.org/https://doi.org/10.17533/udea.acbi.14320>
- Gil, A. dos S. B., & Bove, C. P. (2004). O Gênero *Eleocharis* R. BR. (Cyperaceae) nos Ecossistemas Aquáticos Temporários da Planície Costeira. *Arquivos Do Museu Nacional, Rio de Janeiro*, 62(2), 131–150.
- Girlando-Raigoza, M., & Medina-Arroyave, J. D. (2017). Remoción de colorantes de aguas residuales resultantes del tinturado de flores. *Ingeniería de Procesos*, 1–28. [https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/13228/Manuela\\_GirlandoRaigoza\\_2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/13228/Manuela_GirlandoRaigoza_2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Gobena, B., Kinfu, A., & Berhanu, M. (2020). Social and Environmental Concerns of Flower Farms in Central Ethiopia. *International Journal of Environmental & Agriculture Research*, 6(12), 70–78. [https://www.academia.edu/download/65428875/IJOEAR\\_DE\\_C\\_2020\\_23.pdf](https://www.academia.edu/download/65428875/IJOEAR_DE_C_2020_23.pdf)
- Holdridge, L. R. (1982). *Ecología basada en zonas de vida* (M. De la cruz (ed.); Segunda reimp.). IICA. <http://www.cct.or.cr/contenido/wp-content/uploads/2017/11/Ecologia-Basada-en-Zonas-de-Vida-Libro-IV.pdf>
- Hussein, A., & Scholz, M. (2018). Treatment of artificial wastewater containing two azo textile dyes by vertical-flow constructed wetlands. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 6870–6889. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11356-017-0992-0>
- Ilyas, S. Z., Khattak, A. I., Nasir, S. M., Qurashi, T., & Durrani, T. (2010). Air pollution assessment in urban areas and its impact on human health in the city of Quetta, Pakistan. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 12(3), 291–299. <https://doi.org/10.1007/s10098-009-0209-4>
- Imron, M. F., Kurniawan, S. B., Soegianto, A., & Wahyudianto, F. E. (2019). Phytoremediation of methylene blue using duckweed (*Lemna minor*). *Heliyon*, 5(8), e02206. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02206>
- Iturbe-Arguelles, R. (2010). *¿Qué es la biorremediación?* (Primera edición). Fundacion Telmex.
- Jaramillo-Gallego, M. L., Agudelo-Cadavid, R. M., & Peñuela-Mesa, G. A. (2016). Optimización del tratamiento de aguas residuales de cultivos de flores usando humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 34(1), 20–29. <https://doi.org/10.17533/UDEA.RFNSP.V34N1A03>
- Kishor, R., Purchase, D., Saratale, G. D., Saratale, R. G., Ferreira, L. F. R., Bilal, M., Chandra, R., & Bharagava, R. N. (2021). Ecotoxicological and health concerns of persistent coloring pollutants of textile industry wastewater and treatment approaches for environmental safety. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(2), 105012. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.105012>
- Krull, R., & Döpkens, E. (2004). Recycling of dyehouse effluents by biological and chemical treatment. *Water Science and Technology*, 49(4), 311–317. <https://doi.org/10.2166/wst.2004.0293>
- Kruskal, W. H., Wallis, W. A., & Kruskal, W. H. (1952). Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *American Statistical Association*, 47(1), 583–621. <https://doi.org/10.2307/2280779>
- Lakshmi, K. S., Sailaja, V. H., & Reddy, M. A. (2017). Phytoremediation - A Promising Technique in Waste Water Treatment. *International Journal of Scientific Research and Management*, 5(06), 5480–5489. <https://doi.org/10.18535/ijstrm/v5i6.20>
- Levene, H. (1960). Robust Tests for Equality of Variances. In I. Olkin (Ed.), *Contributions to Probability and Statistics* (pp. 278–292). Stanford University Pres.
- Li, J., Luo, G., He, L. J., Xu, J., & Lyu, J. (2018). Analytical Approaches for Determining Chemical Oxygen Demand in Water Bodies: A Review. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 48(1), 47–65. <https://doi.org/10.1080/10408347.2017.1370670>
- Li, M., Zhang, W., Xia, Y., & Gao, Y. (2011). Study on removal efficiencies of pollutant from constructed wetland in aquaculture waste water around Poyang Lake. *Procedia Environmental Sciences*, 10, 2444–2448. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.380>
- Lucena, F., Duran, A. E., Morón, A., Calderón, E., Campos, C., Gantzer, C., Skraber, S., & Jofre, J. (2004). Reduction of bacterial indicators and bacteriophages infecting faecal bacteria in primary and secondary wastewater treatments. *Journal of Applied Microbiology*, 97(5), 1069–1076. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2004.02397.x>
- Magalhães, A. F., Ruiz, A. L. T. G., Flach, A., Faria, A. D., Magalhães, E. G., & Amaral, M. D. C. E. (2005). Floral scent of *Eleocharis elegans* (Kunth) Roem. & Schult. (Cyperaceae). *Biochemical Systematics and Ecology*, 33(7), 675–679. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2004.12.004>

- Ma, J., Wu, S., Shekhar, N. V. R., Biswas, S., & Sahu, A. K. (2020). Determination of Physicochemical Parameters and Levels of Heavy Metals in Food Waste Water with Environmental Effects. *Bioinorganic Chemistry and Applications*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8886093>
- Maguiña-Castillo, L. F. (2017). Determinación de la capacidad fitorremediadora de *Lupinus mutabilis* Sweet “chocho o tarwi” en suelos contaminados con cadmio (Cd) [Universidad Ricardo Palma]. <https://1library.co/document/qo5m330y-determinacion-capacidad-fitorremediadora-lupinus-mutabilis-sweet-chocho-contaminados.html>
- Malik, A., & Khan, S. (2014). Environmental deterioration and human health: Natural and anthropogenic determinants. *Environmental Deterioration and Human Health*, 1–421. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7890-0>
- Mejía, D., Zegarra, R., Astudillo, A., & Moscoso, D. (2018). Análisis de partículas sedimentables y niveles de presión sonora en el área urbana y periférica de Cuenca. *Revista de La Facultad de Ciencias Químicas*. <https://www.virtualpro.co/biblioteca/analisis-de-particulas-sedimentables-y-niveles-de-presion-sonora-en-el-area-urbana-y-periferica-de-cuenca>
- Meng, X., Khoso, S. A., Jiang, F., Zhang, Y., Yue, T., Gao, J., Lin, S., Liu, R., Gao, Z., Chen, P., Wang, L., Han, H., Tang, H., Sun, W., & Hu, Y. (2020). Removal of chemical oxygen demand and ammonia nitrogen from lead smelting wastewater with high salts content using electrochemical oxidation combined with coagulation–flocculation treatment. *Separation and Purification Technology*, 235, 116233. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.116233>
- Menezes, M. Â. de B. C., Falnoga, I., Šlejkovec, Z., Jaćimović, R., Couto, N., Deschamps, E., & Faganeli, J. (2020). Arsenic in sediments, soil and plants in a remediated area of the iron quadrangle, Brazil, and its accumulation and biotransformation in *eleocharis geniculata*. *Acta Chimica Slovenica*, 67(3), 985–991. <https://doi.org/10.17344/acsi.2019.5760>
- Montoya, J. I., Ceballos, L., Casas, J. C., & Morató, J. (2010). Estudio comparativo de la remoción de materia orgánica en humedales construidos de flujo horizontal subsuperficial usando tres especies de macrófitas. *EIA*, 14, 75–84.
- Noreña-Acevedo, A. E., Osorio-Cortes, C. A., & Duran-Rivera, B. (2020). Evaluación de la remoción de color en efluentes de floricultura, por medio de la inmovilización del hongo *Orellana*. *Universidad Católica de Oriente*.
- Obando Arango, S., & Villegas, N. (2018). Estandarización de un método de laboratorio para la medición de la demanda béntica de oxígeno. *Revista Politécnica*, 14(27), 20–29. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v14n27a2>
- Olmos-Márquez, M. A., Ochoa-Rivero, J. M., Alarcón-Herrera, M. T., Santellano-Estrada, E., Vega-Mares, J. H., & Valles-Aragón, M. C. (2020). Performance of a pilot subsurface flow treatment wetland system, used for arsenic removal from reverse osmosis concentrate, in the municipality of Julimes, Chihuahua, Mexico. *Ingeniería y Universidad*, 24(1), 1–16. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.iued24.ppsf>
- Osorio-Loaiza, M. (2022). Perfil de Desarrollo Subregional Subregión Occidente de Antioquia. In *Universidad de Antioquia* (Vol. 15, Issue 6). [https://ctpantioquia.co/wp-content/uploads/2023/11/Perfil-de-desarrollo-Occidente\\_compressed.pdf](https://ctpantioquia.co/wp-content/uploads/2023/11/Perfil-de-desarrollo-Occidente_compressed.pdf)
- Padmavathamma, P. K., & Li, L. Y. (2007). Phytoremediation Technology: Hyper-accumulation Metals in Plants. *Water, Air, and Soil Pollution* 2007 184:1, 184(1), 105–126. <https://doi.org/10.1007/S11270-007-9401-5>
- Pandey, S. (2006). Water pollution and health. *Kathmandu University Medical Journal*, 4 NO. 1(13), 128–134.
- Pilon-Smits, E. (2005). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*, 56, 15. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144214>
- Pineda-Gómez, H. D., & Pimienta-Betancur, A. (2021). Recortes espaciales que configuran el Oriente antioqueño: de la región a la superposición de territorialidades. *Territorios*, 45, 41–62. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.9946>
- Postolache, O. A., Girão, P. M. B. S., Pereira, J. M. D., & Ramos, H. M. G. (2007). Multibeam optical system and neural processing for turbidity measurement. *IEEE Sensors*, 7(5), 677–684. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2007.894896>
- Ratna, A., & Padhi, B. (2012). Pollution due to synthetic dyes toxicity & carcinogenicity studies and remediation. *International Journal of Environmental Sciences*, 3(3), 940–955. <https://doi.org/10.6088/ijes.2012030133002>
- Reichenauer, T. G., & Germida, J. J. (2008). Phytoremediation of Organic Contaminants in Soil and Groundwater. *ChemSusChem*, 1(8–9), 708–717. <https://doi.org/10.1002/CSSC.200800125>
- Roy-Choudhury, A. K. (2013). Green chemistry and the textile industry. *Textile Progress*, 45(1), 3–143. <https://doi.org/10.1080/00405167.2013.807601>
- Saier, M. H., & Trevors, J. T. (2010). Phytoremediation. *Water Air and Soil Pollution*, 205(SUPPL.1), 2008–2010. <https://doi.org/10.1007/s11270-008-9673-4>
- Sanchez-Ortiz, C. (2022, August 6). La importancia del agua para la vida. <https://www.cespt.gob.mx/informa/importanciaagua.aspx>
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika*, 52(3/4), 591. <https://doi.org/10.2307/2333709>

Sharma, P. (2021). Efficiency of bacteria and bacterial assisted phytoremediation of heavy metals: An update. *Bioresource Technology*, 328, 124835. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124835>

Sonune, A., & Ghate, R. (2004). Developments in wastewater treatment methods. *Desalination*, 167(1–3), 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.06.113>

Sumiahadi, A., & Acar, R. (2018). A review of phytoremediation technology: Heavy metals uptake by plants. *Earth and Environmental Science*, 142(1), 012023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/142/1/012023>

Susarla, S., Medina, V. F., & McCutcheon, S. C. (2002). Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. *Ecological Engineering*, 18(5), 647–658. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(02\)00026-5](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(02)00026-5)

Team, R. C. (2021). R: A language and environment for statistical computing (3.3.0). R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>.

Tizaoui, C., Bouselmi, L., Mansouri, L., & Ghrabi, A. (2007). Landfill leachate treatment with ozone and ozone/hydrogen peroxide systems. *Journal of Hazardous Materials*, 140(1–2), 316–324. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.09.023>

Wilcoxon, F. (1945). Individual comparisons by ranking methods. *Journal of Economic Entomology*, 1(6), 80–83. <https://doi.org/10.1093/jee/39.2.269>.

Wang, J., Zhang, Q., Zhang, Y. N., Fu, M., Ding, Y., Gao, X., ... & Bai, S. (2023). Efficient removal mechanism of an electrical conductivity-enhanced constructed wetlands under particle accumulated conditions. *Journal of Cleaner Production*, 411, 137257. doi: 10.1016/j.jclepro.2023.137257.

Qomariyah, S., Utomo, B., & Wahyudi, A. H. (2022, July). Constructed wetlands with *Cyperus alternifolius* as a sustainable solution for household greywater treatment. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1065, No. 1, p. 012025). IOP Publishing. doi: 10.1088/1755-1315/1065/1/012025.

Idris, N. N., Chua, L. H., Mustaffa, Z., Das, S., & Takaijudin, H. (2024). A review study on the association between hydraulic performance and treatment effectiveness in free surface flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 203, 107258. doi: 10.1016/j.ecoleng.2024.107258.

# Implementación de un Sistema De Alertas Tempranas Para Prevenir La Propagación De La Enfermedad Sigatoka Negra En Cultivos De Plátano Y Banano En El Municipio De Apartadó (Urabá).

Aldemar de Jesús Correa Hernández <sup>1(\*)</sup>; Amada Tatiana Naranjo Diaz <sup>2</sup>; Joel Enrique Guerrero Urango <sup>3</sup>  
Amhed Alejandro Cardona Mesa.

<sup>1</sup> *Institución Universitaria Digital de Antioquia, Facultad de Ingeniería, Medellín, Colombia*

<sup>3</sup> *Institución Universitaria Digital de Antioquia, Facultad de Administración, Medellín, Colombia*

**Resumen:** La Sigatoka Negra, provocada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, constituye una seria problemática para la producción de banano y plátano en Colombia, impactando considerablemente desde su primera detección en 1983. Esta enfermedad foliar no solo compromete la fotosíntesis de las plantas, disminuyendo la calidad y cantidad del fruto, sino que también eleva los costos de producción agrícola debido a la necesidad imperativa de utilizar fungicidas para su control. La relevancia de este problema se intensifica al considerar la posición central de la región de Urabá en la economía agrícola del país, reconocida por su significativa contribución a la industria bananera nacional.

Ante este panorama, el presente estudio propone la implementación de un sistema de alerta temprana, fundamentado en la aplicación de técnicas avanzadas de Machine Learning y Redes Neuronales Artificiales. El objetivo principal de esta iniciativa es analizar minuciosamente los datos fisicoquímicos de las plantas junto con las condiciones climáticas de la región, identificando patrones y variables críticas como la temperatura, humedad, precipitaciones y velocidad del viento. Estos factores son determinantes en la propagación de la enfermedad y, por ende, en la adopción de estrategias de gestión más efectivas y menos dependientes de químicos.

La recopilación y análisis de datos climáticos abarcan el periodo comprendido entre 2010 y 2019, proporcionando una base sólida para el pronóstico y prevención de la Sigatoka Negra. A través de este enfoque, se pretende no solo mitigar el impacto negativo de la enfermedad en la productividad agrícola, sino también promover prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Con ello, se busca una transformación en la gestión de los cultivos de banano y plátano, orientada hacia la sostenibilidad, eficiencia y responsabilidad ambiental.

**Palabras clave:** clima, especies invasivas, género musa, *mycosphaerella fijiensis*, propagación, variables meteorológicas, Impacto ambiental de fungicidas

Recibido: 18 de enero de 2024. Aceptado: 2 de septiembre de 2024

Received: January 18th, 2024. Accepted: September 2nd, 2024

## Implementation of an Early Warning System to Prevent the Spread of Black Sigatoka Disease in Banana and Plantain Crops. Apartadó (Urabá).

**Abstract:** Black Sigatoka, caused by the fungus *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, is a serious problem for banana and plantain production in Colombia and has had a considerable impact since its first detection in 1983. This foliar disease not only compromises plant photosynthesis, reducing fruit quality and quantity, but also increases agricultural production costs due to the imperative need to use fungicides for its control. The relevance of this problem is intensified when considering the central position of the Urabá region in the agricultural economy of the country, recognized for its significant contribution to the national banana industry.

Given this scenario, this study proposes the implementation of an early warning system, based on the application of advanced Machine Learning and Artificial Neural Networks techniques. The main objective of this initiative is to thoroughly analyze the physicochemical data of the plants together with the climatic conditions of the region, identifying patterns and critical variables such as temperature, humidity, rainfall and wind speed. These factors are determinants in the spread of the disease and, therefore, in the adoption of more effective and less chemical-dependency management strategies.

The collection and analysis of climate data covers the period from 2010 to 2019, providing a solid basis for forecasting and prevention of Black Sigatoka. Through this approach, the aim is not only to mitigate the negative impact of the disease on agricultural productivity, but also to promote more sustainable and environmentally friendly practices. The aim is to transform the management of banana and plantain crops, with a focus on sustainability, efficiency and environmental responsibility.

**Keywords:** climate, invasive species, musa genus, *mycosphaerella fijiensis*, propagation, weather variables, environmental impact of fungicides, environmental impact of fungicides



## 1. INTRODUCCIÓN

La Sigatoka negra, causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, es una enfermedad foliar destructiva que afecta principalmente a plantas del género *Musa*, incluyendo cultivos de banano y plátano. La sigatoka negra es considerada una de las enfermedades más limitantes en la producción de plátano y banano a nivel mundial, con un impacto significativo en el rendimiento y la calidad de los cultivos (Cedeño-Zambrano et al, 2021). En Colombia, la enfermedad se reportó por primera vez en 1983 y desde entonces se ha extendido rápidamente por todo el país (Manabí-El Carmen, 2023). La Sigatoka negra representa una amenaza importante para la industria agrícola, ya que los cultivos de plátano y banano son esenciales para el sustento de millones de personas en Colombia (Rojas, 2021).

El estado actual y la propagación de la Sigatoka Negra en Colombia es motivo de preocupación. Se estima que la enfermedad afecta aproximadamente al 70% de los cultivos de banano y plátano en el país (Barrera, Barraza, & Campo, 2016). La rápida propagación de la Sigatoka en Colombia ha resultado en importantes pérdidas económicas para los agricultores y la industria agrícola en general.

En el caso colombiano el hongo se localizó en la zona del Urabá- Antioqueño por primera vez en el año de 1981, inicialmente no generó mayor daño, pero posteriormente en el año 1986 se hallaron alrededor de 600.000 cajas de banano invadidas del hongo, luego de esto la plaga se trasladó al Magdalena, siendo esta enfermedad el mayor problema de pérdida de la cosecha bananera de exportación. Para el caso de la Sigatoka Negra, obedece a causas bióticas y abióticas, los cuales están regidos por condiciones de humedad, temperatura y el desarrollo de la afección, sugiere la existencia de una dependencia con los factores climáticos, los cuales limitan la repercusión y el rigor de la enfermedad. Cabe resaltar que esta plaga muestra una dinámica estacional establecida por los cambios de la temperatura y lluvias durante el año. (Forero, Pira neque Gamba sica, & Menjívar Flores, 2012)

Desafortunadamente, la sigatoka negra puede causar una disminución significativa en la producción de plátanos y bananos. Las hojas afectadas por la enfermedad se marchitan prematuramente, lo que reduce la capacidad de la planta para realizar la fotosíntesis y producir nutrientes necesarios para el desarrollo adecuado de los frutos, además los plátanos y bananos infectados por el patógeno pueden presentar una calidad inferior. Las manchas y lesiones causadas por la enfermedad pueden afectar la apariencia y el sabor de los frutos, lo que reduce su valor comercial, asimismo, el control y manejo de la sigatoka negra requiere el uso de fungicidas y medidas de manejo cultural, lo que implica un mayor costo de producción para los agricultores, eso sin contar con las implicaciones del el impacto ambiental negativo que tiene el uso de fungicidas, provocando contaminar el suelo y el agua, afectando la salud de los ecosistemas locales. Por tal razón se plantea el desarrollo de un sistema de alertas tempranas para prevenir la Propagación de la enfermedad Sigatoka Negra en cultivos de plátano y Banano en la región de Urabá, a partir de determinar las condiciones meteorológicas y fisicoquímicas de

las plantas, las cuales nos permitirán conocer a qué temperatura y humedad se puede desarrollar el patógeno, luego de esto se hará el análisis de datos utilizando técnicas estadísticas y de inteligencia artificial y para finalizar se validará la eficiencia de los algoritmos y su precisión con el fin de evaluar datos recolectados en los cultivos de plátano y banano.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 La región de estudio

La región del Urabá es fundamental para el sector bananero en Colombia, ya que allí se ubican alrededor de 65.000 hectáreas de cultivos que son importantes para el desarrollo productivo. De las aproximadamente 95.000 hectáreas de producción agrícola en Urabá, unas 35.000 son dedicadas a la producción de bananos para exportación, las cuales generan más de 25.000 empleos directos y entre 65.000 y 100.000 empleos indirectos en la zona. Además, hay unas 30.000 hectáreas de cultivos de plátano, que benefician a unas 8.000 familias. (Instituto Colombiano Agropecuario-ICA, 2021).

### 2.2 La Sigatoka Negra

La Sigatoka negra es una enfermedad causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, y representa el principal problema fitopatológico de los cultivos de banano y plátano en Centroamérica. Esta enfermedad afecta las hojas de las plantas, lo que provoca una rápida degradación del área foliar y disminuye la capacidad fotosintética de las mismas, afectando el crecimiento y la productividad de las plantas. Además, la Sigatoka negra también produce una disminución en la calidad del fruto. (Elizabeth Álvarez, Pantoja, Gañán, & Ceballos, 2013)

### 2.3 Machine Learning

El Machine Learning se basa en la idea de que las máquinas pueden aprender de los datos, identificar patrones y hacer predicciones y decisiones sin ser programadas explícitamente para cada tarea específica. Para lograr esto, los algoritmos de Machine Learning utilizan técnicas matemáticas y estadísticas avanzadas para encontrar patrones y relaciones en los datos, y luego utilizan estos patrones para hacer predicciones o tomar decisiones. (Cuadrado, 2019)

Los algoritmos de Machine Learning se pueden dividir en dos categorías principales: aprendizaje supervisado y no supervisado. En el aprendizaje supervisado, se proporciona al modelo datos etiquetados, lo que significa que se conoce la respuesta correcta para cada ejemplo en los datos. El modelo utiliza estos datos etiquetados para aprender a hacer predicciones precisas sobre nuevos datos no vistos anteriormente (Manosalva, 2019). En el aprendizaje no supervisado, el modelo recibe datos no etiquetados y tiene que encontrar patrones y relaciones en los datos por sí mismo. El objetivo principal del aprendizaje no supervisado es descubrir estructuras ocultas en los datos y agrupar los datos en

diferentes categorías o clústeres. (Instituto de Ingeniería del conocimiento, 2023)

El Machine Learning tiene una amplia variedad de aplicaciones en diferentes campos, algunas de las principales son:

- Reconocimiento de patrones: permite identificar patrones y características en los datos para su análisis y predicción en campos como la imagenología médica, el análisis de voz y texto, y el reconocimiento de objetos en imágenes.
- Análisis de datos: se utiliza para la identificación de patrones en grandes cantidades de datos para mejorar la toma de decisiones en diferentes campos como el marketing, la banca y la industria.
- Análisis predictivo: se utiliza para hacer predicciones precisas basadas en datos históricos para prever resultados futuros en áreas como la previsión del tiempo, las finanzas y el mantenimiento preventivo.
- Optimización: se utiliza para optimizar procesos y sistemas en diferentes campos, como la producción, la logística y la cadena de suministro.
- Automatización de tareas: se utiliza para automatizar tareas repetitivas y reducir la necesidad de intervención humana, como la clasificación de correos electrónicos, el etiquetado de imágenes y la detección de fraudes.

#### 2.4 Redes Neuronales Artificiales (RNA)

Son un tipo de algoritmo de aprendizaje automático que se basa en la estructura y el funcionamiento de las redes neuronales biológicas. Las RNA están diseñadas para simular el comportamiento de las neuronas en el cerebro humano, permitiendo que las máquinas puedan aprender de forma autónoma y realizar tareas complejas de manera eficiente. (CELIS, 2008)

Una RNA se compone de una serie de nodos, llamados neuronas artificiales, que están conectados por líneas que representan las sinapsis biológicas. Cada neurona artificial recibe una entrada de información, la procesa y luego transmite una señal de salida a otras neuronas o hacia la salida de la red. La red se organiza en capas, donde cada capa se compone de un número de neuronas que procesan los datos y transmiten la información hacia la siguiente capa. La última capa de la red es la capa de salida, que proporciona la respuesta final a la tarea de aprendizaje. (Caicedo & López, 2017, págs. 17-18)

#### 2.5 Máquinas de Soporte Vectorial (SVM)

Las Máquinas de Soporte Vectorial son un algoritmo de aprendizaje supervisado utilizado en el campo del aprendizaje automático. El objetivo de las SVM es encontrar la mejor separación lineal entre dos grupos de datos, maximizando la distancia entre los puntos de cada grupo y la línea de separación. Las SVM se basan en la teoría de la optimización convexa y se utilizan para clasificación y regresión. En la clasificación, se utiliza una SVM para predecir la clase de un

objeto desconocido a partir de sus características. En la regresión, se utiliza una SVM para predecir el valor de una variable numérica a partir de un conjunto de características. (León, 2016)

Las SVM son capaces de manejar datos de alta dimensión y son efectivas en la clasificación de datos no lineales. Esto se logra mediante la aplicación de una función de kernel, que transforma los datos en un espacio de características de mayor dimensión, donde la separación lineal es posible. Los tipos de funciones de kernel comunes incluyen el kernel lineal, el kernel polinómico y el kernel radial. (Monroy Jordán & Pérez Neira, 2005)

#### 2.6 Dataset

La zona de investigación se compone por tres fincas bananeras que se encuentran en Carepa (Antioquia), que cuentan con estaciones meteorológicas para la adquisición de datos cada diez minutos. Para esta investigación se utilizaron los promedios diarios generados del dataset. Las variables meteorológicas consideradas se presentan en la Tabla 1 con su respectiva representación en el dataset.

**Tabla 1.** Variables meteorológicas en el dataset

Variable	Parameter (s)
RH2M	Relative Humidity at 2 Meters (%)
PRECTOTCORR	Precipitation Corrected (mm/hour)
T2M DEW	Dew/Frost Point at 2 Meters (C)
T2M WET	Wet Bulb Temperature at 2 Meters (C)
T2M	Temperature at 2 Meters (C)
WS2M	Wind Speed at 2 Meters (m/s)
PS	Surface Pressure (kPa)

Adicionalmente, las fincas cuentan con registros del estado de la Sigatoka Negra en los cultivos, por lo tanto, se tomará el progreso de la enfermedad como variable que mide el nivel de progresión de la enfermedad. Para las pruebas, se consideran los siguientes períodos, que coinciden con la medida de progresión de la enfermedad entre 01/27/2010 y 05/22/2019.

#### 2.7 Python y Google Colab

Python es un lenguaje de programación de alto nivel, interpretado y de propósito general que se utiliza ampliamente en la programación de sistemas, desarrollo web, inteligencia artificial, aprendizaje automático, análisis de datos y otras aplicaciones. También cuenta con una amplia biblioteca estándar que proporciona una gran cantidad de herramientas para el procesamiento de datos, redes, matemáticas, gráficos, entre otros. Además, Python es un lenguaje multiplataforma, lo que significa que se puede ejecutar en cualquier sistema operativo. (Franco, 2019)

Para el análisis de datos con Google Colab, Python es la opción preferida por la mayoría de los científicos de datos debido a su facilidad de uso y a la gran cantidad de bibliotecas y herramientas disponibles para el análisis de datos. Google Colab es un entorno de desarrollo en línea gratuito que proporciona acceso a una instancia virtual de Python y ofrece una amplia gama de bibliotecas preinstaladas, incluidas las más populares para análisis de datos como NumPy, Pandas, Matplotlib y Scikit-learn. Además, Google Colab permite el uso de GPUs y TPUs para acelerar el procesamiento de datos y modelos de aprendizaje automático.

### 3. METODOLOGÍA

Esta metodología se enmarcó de la siguiente manera en tres partes así:

1. La primera etapa consiste en la búsqueda en el estado del arte sobre los diferentes métodos de detección y prevención de la Sigatoka Negra en los cultivos de plátano y banano. De igual forma, se realizará la caracterización de la enfermedad y sus efectos en las plantas, además de las condiciones ambientales que se consideran como ideales para la rápida propagación del hongo en las hojas.

2. La segunda etapa se enfoca en revisar las condiciones meteorológicas a través de literatura y por parte de un experto en el área para determinar cuál es la temperatura ideal, los niveles relativos de humedad, las precipitaciones y la velocidad del viento.

3. La tercera etapa está enfocada en el análisis y recopilación de los datos meteorológicos de las cuatro variables climáticas de temperatura, humedad relativa, precipitaciones de lluvia y velocidad del viento y la posibilidad de incorporación de la tecnología basada en inteligencia artificial como alternativa de solución frente a la problemática de dicha enfermedad foliar.

### 4. RESULTADOS

El desarrollo de un sistema de alerta temprana utilizando técnicas de Machine Learning es crucial para predecir la propagación de la enfermedad de la Sigatoka Negra en cultivos de banano en la región de Urabá en Colombia. La recopilación y el análisis de datos son los primeros pasos de este proceso.

#### 4.1 Condiciones meteorológicas

Con la revisión de literatura y validación por parte de expertos en el área, se determina que el banano crece mejor en un rango de temperatura entre 27°C y 32°. Si bien requiere calor para prosperar debido a su naturaleza tropical, temperaturas superiores a 35 °C pueden ser perjudiciales, reduciendo el crecimiento y el rendimiento. Por lo tanto, es crucial mantener una temperatura constante dentro del rango óptimo para asegurar un crecimiento saludable. Los niveles relativos de humedad también son importantes para el cultivo y el rango ideal para los cultivos de banano es del 75 al 85%. La sigatoka

negra puede dañar gravemente los cultivos y crece cuando hay altos niveles de humedad. Por lo tanto, mantener niveles de humedad adecuados es importante para evitar la aparición de la sigatoka y garantizar un crecimiento saludable del banano.

Las precipitaciones y la velocidad del viento también son cruciales para el cultivo del banano y la aparición de la sigatoka. Las precipitaciones anuales de entre 1.500 y 2.000mm son ideales para los cultivos. Pero las precipitaciones abundantes pueden causar inundaciones y tener un impacto en el crecimiento y el rendimiento de los frutos. La velocidad del viento también es importante porque los vientos fuertes pueden dañar las plantas. Además, las esporas de la sigatoka se pueden propagar por el viento, lo que aumenta el riesgo de brotes de la enfermedad.

#### 4.2 Análisis inicial de los datos

En el contexto del proyecto de investigación, se llevaron a cabo análisis de los datos meteorológicos correspondientes al periodo entre 2010 y 2019, con el propósito de examinar la variable temperatura. Los resultados obtenidos indican que el promedio de temperatura registrado durante dicho periodo fue de 25.48 grados Celsius. Además, se identificó un valor mínimo de 19.45 grados Celsius y un valor máximo de 37.75 grados Celsius. La desviación estándar de la variable temperatura en este periodo fue de 2.15 grados Celsius, lo que señala la presencia de una moderada variabilidad en los registros de temperatura. El promedio de temperatura se calculó sumando todas las temperaturas registradas durante el periodo de estudio y dividiendo entre el número total de observaciones. El valor mínimo y máximo de temperatura se obtuvieron a partir de los registros más bajos y más altos, respectivamente, documentados en el periodo estudiado. Por otro lado, la desviación estándar es una medida estadística que indica la variabilidad de un conjunto de datos en relación a su media (Figura 1).

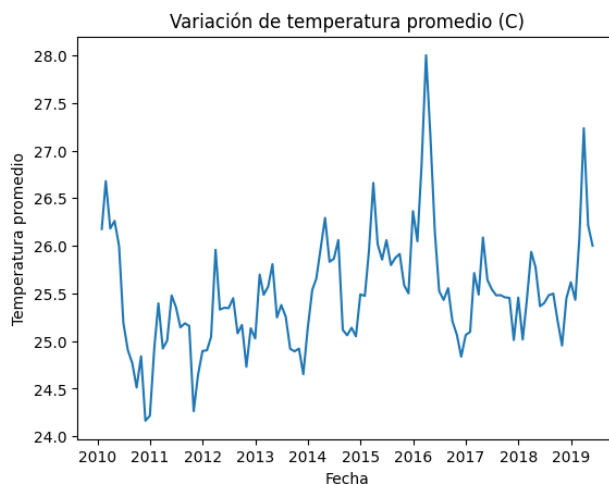
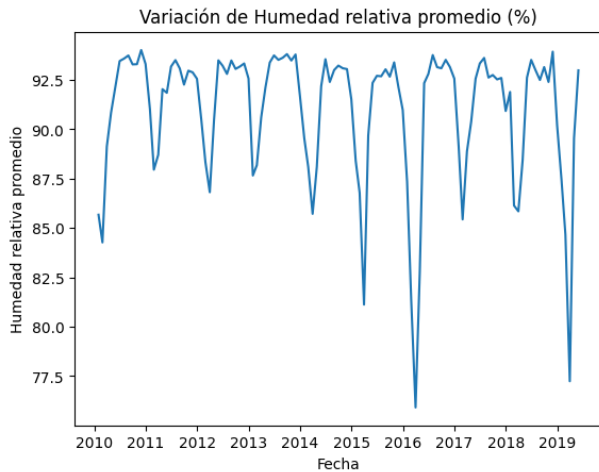


Figura 1. Variación de temperatura promedio en el periodo 2010 a 2019.

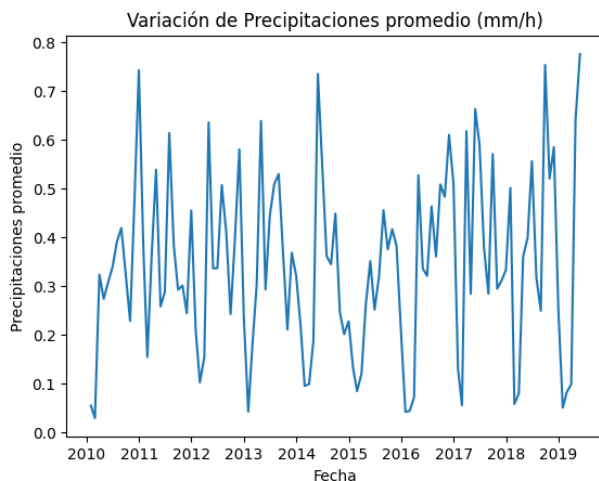
Los resultados revelan que el promedio de humedad relativa registrado en dicho lapso fue de 91.00%, indicando una condición de alta humedad en general. Se identificó un valor mínimo de 35.25%, lo que sugiere situaciones de baja humedad relativa en ciertos momentos, y un valor máximo de

100.0%, reflejando condiciones de alta humedad máxima alcanzada. Además, se calculó una desviación estándar de 9.53%, lo que señala una variabilidad moderada en los registros de humedad relativa. Estos datos son fundamentales para comprender y caracterizar los patrones climáticos en la región durante el periodo analizado (Figura 2).



**Figura 2.** Variación de humedad relativa promedio en el período 2010 a 2019.

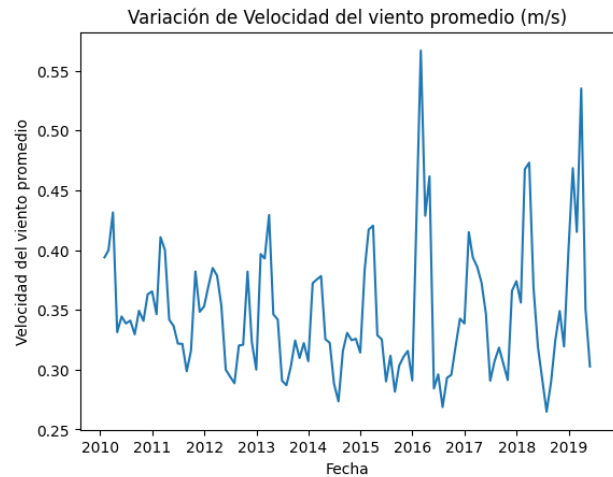
Los resultados obtenidos muestran que el promedio de precipitaciones registrado durante ese lapso fue de 0.34 milímetros. Se identificó un valor mínimo de 0.0 milímetros, indicando periodos sin lluvia, y un valor máximo de 25.78 milímetros, señalando episodios de lluvias intensas. La desviación estándar de 0.78 milímetros revela una variabilidad significativa en los registros de precipitaciones. Estos datos son esenciales para comprender y analizar los patrones climáticos de lluvia en la región durante el periodo de estudio (Figura 3).



**Figura 3.** Variación de precipitaciones de lluvia promedio en el período 2010 a 2019.

Los resultados obtenidos indican que la velocidad promedio del viento registrada durante dicho periodo fue de 0.35 metros por segundo. Se identificó un valor mínimo de 0.0 metros por segundo, lo que sugiere momentos de calma en los que no se registraron vientos significativos. Por otro lado, se encontró un valor máximo de 1.34 metros por segundo, indicando

episodios de viento más intenso. La desviación estándar de 0.18 metros por segundo señala una variabilidad moderada en los registros de velocidad del viento. Estos datos son fundamentales para comprender y caracterizar los patrones climáticos de viento en la región durante el periodo analizado (Figura 4).



**Figura 4.** Variación de velocidad del viento promedio en el período 2010 a 2019.

El análisis de las cuatro variables climáticas de temperatura, humedad relativa, precipitaciones de lluvia y velocidad del viento. Los resultados revelaron que, durante el periodo entre 2010 y 2019, la temperatura promedio registrada fue de 25.48 grados Celsius, con una variabilidad moderada de 2.15 grados Celsius. La humedad relativa promedio fue de 91.00%, con una desviación estándar de 9.53%, indicando una condición general de alta humedad. En cuanto a las precipitaciones de lluvia, se observó un promedio de 0.34 milímetros, con una variabilidad significativa de 0.78 milímetros. Por último, la velocidad del viento promedio fue de 0.35 metros por segundo, con una desviación estándar de 0.18 metros por segundo.

## 5. CONCLUSIONES

La revisión detallada de las condiciones meteorológicas en la región de Urabá entre 2010 y 2019 revela que, en general, el promedio de temperatura se encuentra dentro del rango óptimo para el cultivo de banano, situándose entre 27°C y 32°C. Sin embargo, se destaca la presencia de variabilidad en la temperatura, indicando la necesidad de monitoreo constante para evitar extremos perjudiciales. La alta humedad relativa, con un promedio del 91%, también favorece el cultivo, aunque la variabilidad en la humedad y la presencia de lluvias intensas deben considerarse en la gestión agrícola para prevenir la propagación de la Sigatoka Negra.

El análisis de las precipitaciones revela un promedio relativamente bajo de 0.34 milímetros, indicando condiciones predominantemente secas. Sin embargo, la presencia de episodios de lluvias intensas, con un máximo de 25.78 milímetros, sugiere patrones climáticos significativos. La variabilidad en las precipitaciones, con una desviación estándar de 0.78 milímetros, resalta la importancia de comprender y gestionar los eventos climáticos extremos, ya

que pueden influir directamente en el rendimiento de los cultivos.

El análisis de la velocidad del viento indica que, en promedio, la región experimenta vientos moderados de 0.35 metros por segundo. Aunque se identifican momentos de calma, con velocidades mínimas de 0.0 metros por segundo, también se registran episodios de viento más intenso, alcanzando un máximo de 1.34 metros por segundo. La moderada variabilidad en la velocidad del viento (0.18 metros por segundo) destaca su influencia en la propagación potencial de esporas de la Sigatoka Negra y enfatiza la importancia de estrategias de manejo para mitigar posibles daños a los cultivos.

## REFERENCIAS

- Barrera, J., Barraza, F., & Campo, R. (2016). Efecto del sombrero sobre la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en cultivo de plátano cv hartón (*Musa AAB* Simmonds). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 19(2), 317-323.
- Cedeño-Zambrano, J. R., Díaz-Barrios, E. J., de Jesús Conde-López, E., Cervantes-Álava, A. R., Avellán-Vásquez, L. E., Zambrano-Mendoza, M. E., ... & Sánchez-Urdaneta, A. B. (2021). Evaluación de la severidad de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en plátano" Barraganete" bajo fertilización con magnesio. *Revista Técnica*, 44(1), 4-12.
- Manabi-El Carmen, D. E. (2023). Análisis De La Comercialización De Banano Rojo (*Musa Acuminata*'red Dacca') En La Provincia (Doctoral Dissertation, Universidad Agraria Del Ecuador).
- Rojas Contreras, L. R. (2021). Estrategia de mercadeo para el lanzamiento del fungicida Belanty® para el combate de pseudocercospora fijiensis en el cultivo de banano en Costa Rica.
- Caicedo, E. F., & Lopez, J. (2017). UNA APROXIMACIÓN PRÁCTICA A LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES. Cali-: Programa Editorial Universidad del Valle.
- CELIS, J. A. (2008). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. Obtenido de [https://oa.upm.es/1851/1/INVE\\_MEM\\_2008\\_53259.pdf](https://oa.upm.es/1851/1/INVE_MEM_2008_53259.pdf)
- Cuadrado, A. M. (Septiembre de 2019). UTILIZACIÓN DEL MACHINE LEARNING. Valladolid. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/228074134.pdf>
- Elizabeth Álvarez, Pantoja, A., Gañán, L., Ceballos, G. (julio de 2013). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
- Forero, S. E., Piraneque Gambasica, N., & Menjivar Flores, J. C. (2012). Relación entre las propiedades edafoclimáticas y la incidencia de sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en la zona bananera del Magdalena-Colombia. Obtenido de [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-RelacionEntreLasPropiedadesEdafoclimaticasYLaIncid-5344950%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-RelacionEntreLasPropiedadesEdafoclimaticasYLaIncid-5344950%20(3).pdf)
- Franco, A. C. (julio de 2019). Universidad de Sevilla . Obtenido de Universidad de Sevilla : <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/90004/Centeno%20Franco%20Alba%20TFG.pdf>
- Instituto Colombiano Agropecuario-ICA . (16 de Abril de 2021). Instituto Colombiano Agropecuario. Obtenido de Instituto Colombiano Agropecuario: <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-declaro-uraba-libre-fusarium-raza-4-tropical>
- Instituto de ingeniería del conocimiento . (2023). Machine Learning & Deep Learning. Obtenido de Machine Learning & Deep Learning: <https://www.iic.uam.es/inteligencia-artificial/machine-learning-deep-learning/>
- León, E. C. (2016). Universidad de Zaragoza. Obtenido de <https://zaguan.unizar.es/record/59156/files/TAZ-TFG-2016-2057.pdf>
- Manosalva, G. R. (30 de junio de 2019). Modelo de análisis de datos utilizando técnicas de aprendizaje supervisado y no supervisado,. Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magíster en Ingeniería y Analítica de Datos. Bogotá. Obtenido de <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/8502/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Monroy Jordan, E. D., & Pérez Neira, J. E. (2005). Repositorio de la Universidad Tecnológica De Bolívar . Obtenido de Repositorio de Universidad Tecnológica De Bolívar : [https://repositorio.utb.edu.co/bitstream/handle/20.500.12585/295/0030352\\_merged%20%281%29.pdf?sequence=7&isAllowed=y](https://repositorio.utb.edu.co/bitstream/handle/20.500.12585/295/0030352_merged%20%281%29.pdf?sequence=7&isAllowed=y)

## Percepciones de Ciencia, Tecnología e Innovación en la Ruralidad: Comparación de la III Encuesta Nacional con una Encuesta Piloto Realizada en una Comunidad Caficultora de Ituango

Cecilia Gallardo Cabrera<sup>1(\*)</sup>, Marcela Martínez Castaño<sup>1</sup>, Deisy Johana Gómez Quintero<sup>1</sup>, María Alexandra Quirama Rivera<sup>1</sup>, Laura Milena Cifuentes Posada<sup>1</sup>

*1 Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias, Medellín, Colombia*

**Resumen:** La calidad del café de Colombia es reconocida a nivel mundial, su producción requiere de una cadena extensa en la que el caficultor aplica sus conocimientos y saberes en etapas claves del proceso, como la siembra, cultivo, recolección y postcosecha, fases en las que entran en juego diferentes variables que determinan la calidad y, por consiguiente, el valor económico. Por otro lado, el mercado del café está en constante innovación, lo que plantea la pregunta de si los caficultores están familiarizados con la ciencia. Así, el propósito de este artículo es comparar descriptivamente una encuesta de percepciones de la ciencia, tecnología e innovación puesta a prueba en una comunidad de caficultores del municipio de Ituango, con la encuesta nacional realizada en entornos urbanos, y determinar el grado de comprensión de las preguntas. Se descubre que, pese a la riqueza cultural de los territorios donde la observación y el aprendizaje son bases permanentes para responder a las exigencias del mercado de café, las palabras ciencia y tecnología no se encuentran dentro del imaginario de los caficultores, tal como se encontró en la encuesta nacional, lo que señala, por un lado, el reto de construir cultura investigativa y poner a dialogar los saberes acumulados de los caficultores con las formas de la ciencia occidental, y, por otro lado, el reto de modificar el lenguaje de las encuestas y aplicar otras metodologías participativas para acceder a las percepciones de la ciencia y la tecnología en comunidades rurales.

**Palabras clave:** Campesinos. Caficultores. Percepciones de ciencia, tecnología e innovación.

Recibido: 28 de mayo de 2024. Aceptado: 3 de septiembre de 2024.

Received: May 28th, 2024. Accepted: September 3rd, 2024.

## Perceptions of Science, Technology, and Innovation in Colombia: Comparison of the III National Survey with a Pilot Survey Conducted in a Rural Coffee-Growing Community in Ituango

**Abstract:** The quality of Colombian coffee is recognized worldwide. Its production requires an extensive chain in which the coffee grower applies their knowledge and skills at key stages of the process, such as planting, cultivation, harvesting, and post-harvest. On the other hand, the coffee market is constantly innovating, which raises the question of whether coffee farmers are familiar with the science. Thus, the purpose of this article is to descriptively compare a survey on perceptions of science, technology, and innovation tested in a community of coffee growers in the municipality of Ituango with the national survey conducted in urban environments and determine the degree of understanding of the questions. It is found that, despite the cultural richness of the regions where observation and learning are permanent bases to respond to the demands of the coffee market, the words "science" and "technology" are not part of the coffee growers' imagination as found in the national survey. This highlights, on one hand, the challenge of building a research culture and bringing together the accumulated knowledge of the coffee growers with the forms of western science, and on the other hand, the challenge of modifying the language of the surveys and applying other participatory methodologies to access perceptions of science and technology in rural communities.

**Keywords:** Peasants. Coffee growers. Perceptions of science, technology, and innovation.

## 1. INTRODUCCIÓN

El fomento de la cultura científica se encuentra dentro de los lineamientos de las políticas nacionales e internacionales dado que la construcción de esta cultura posibilita que las comunidades puedan resolver sus problemas y tomar decisiones en situaciones complejas y de alta incertidumbre con el uso del conocimiento y los métodos de la investigación, lo que impacta positivamente en su desarrollo socioeconómico (Diez et al., 2015). En Colombia, además de impulsar la investigación a través de la financiación de proyectos, la formación de investigadores en posgrado y la investigación formativa en pregrado, se han estructurado estrategias para incorporar la ciencia en la cultura general mediante la divulgación de la ciencia, el fomento del periodismo científico, la creación de museos interactivos, parques nacionales, ferias de ciencia y diferentes tipos de eventos.

Adicionalmente, el diseño y realización de encuestas de percepción pública de la ciencia ha sido un elemento de gran importancia en la construcción de una cultura de la investigación en Colombia, debido a que se han utilizado como un instrumento para obtener indicadores sobre este proceso.

A nivel internacional la percepción pública de la ciencia se ha abordado desde dos enfoques: 1) “alfabetización científica” o “scientific literacy” propuesto desde Estados Unidos, y 2) “comprensión pública de la ciencia” o “public understanding of science” (PUS) de Gran Bretaña. El primer enfoque busca indagar sobre el conocimiento que tienen los ciudadanos de hechos científicos bien establecidos, mientras que en el segundo contempla, además, preguntas para verificar que tanto sabe el público sobre el proceso de investigar y sobre la apreciación que tiene frente a la ciencia como proceso en sí (Aguirre-Guzmán, 2013).

Las primeras encuestas de percepción pública de la ciencia fueron realizadas en Estados Unidos a través de los estudios compilados por la National Science Foundation (NSF) en 1972, y en Europa en el año 1992. En Latinoamérica, Brasil y Colombia fueron los pioneros en realizar dichas encuestas en los años 1987 y 1994, respectivamente. Luego, en el año 2001, se creó la Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología —Iberoamericana e Interamericana— (RICYT), con el apoyo de la OEI, con el fin de armonizar los indicadores de percepción pública de la ciencia que se recogieron en el Manual de Antigua (Polino, 2015a). Paralelamente, la Red de Popularización de la Ciencia y la Tecnología en América Latina y el Caribe (RedPOP) unificó diferentes iniciativas que se venían dando en la región desde 1960 (La red POP, 2008).

Estos sucesos explican el hecho de que las encuestas de percepción de la ciencia y tecnología realizadas en Latinoamérica combinen los dos enfoques mencionados antes, y se complementen con enfoques de movimientos sociales propios de esta región. Así, las encuestas están estructuradas en cuatro núcleos de indagación: imaginario social, comprensión de los contenidos, procesos de comunicación y participación ciudadana (Polino, 2015b).

En Colombia se han hecho tres encuestas en los años 1994, 2004 y 2012, nombradas respectivamente: Imagen de la Ciencia y la Tecnología en la Población Colombiana, La percepción que tienen los colombianos sobre la ciencia y la tecnología, y III Encuesta nacional de Percepción Pública de la Ciencia y la Tecnología, (Daza-Caicedo et al., 2014). En las encuestas realizadas se ha encontrado que las variables sociodemográficas como edad, género, nivel educativo, aspectos regionales y geográficos afectan los resultados de los indicadores de la percepción de ciencia (Polino, 2015a), por lo que, al saber que la mayoría de estas encuestas se han realizado en personas que residen en ciudades, emerge la pregunta: ¿cuáles son las percepciones de ciencia y tecnología en comunidades rurales de Colombia?

Esta pregunta resulta relevante si se considera que en Latinoamérica la posición geográfica del individuo condiciona los hábitos informativos, creencias, acceso a cultura y nivel educativo, y que son bien reconocidas las brechas de acceso a la educación entre la población rural y la urbana (Ortega y Solano, 2023). Además, las comunidades rurales latinoamericanas hacen aportes significativos al desarrollo regional, por ejemplo, la seguridad alimentaria está sustentada básicamente por la agricultura familiar (CEPAL, 2013), y el desafío del cambio climático es enfrentado especialmente por estas comunidades, viéndose obligadas a tomar decisiones en situaciones de alta incertidumbre (Santiago-Vera, et al., 2018). Por ello, conocer las percepciones de estas comunidades respecto a la ciencia es superlativo para plantear políticas públicas de desarrollo económico sostenible.

El propósito de este artículo es comparar descriptivamente una encuesta piloto con la que se indagó por las percepciones de ciencia, tecnología e innovación en una comunidad rural dedicada al cultivo del café en la vereda Guacharaquero del municipio de Ituango-Antioquia, con la III Encuesta Nacional de Percepción Pública de la Ciencia y la Tecnología, que se nombrará en adelante como IIENPP-CyT, y determinar el grado de comprensión de las preguntas y alternativas de respuesta.

## 2. METODOLOGÍA

Se realizó un estudio de carácter exploratorio y descriptivo para evaluar el grado de comprensión de las preguntas y alternativas de respuesta en relación con una encuesta piloto de percepciones de ciencia, tecnología e innovación aplicada a una comunidad rural caficultora en la vereda Guacharaquero del municipio de Ituango. El estudio se realizó en tres fases: elaboración de la encuesta piloto, trabajo de campo y análisis de los datos.

En la elaboración de la encuesta se tuvieron en cuenta las dimensiones de análisis para la construcción de indicadores de percepción pública de la ciencia, tecnología e innovación (Polino, 2015b). En consecuencia, la encuesta fue estructurada en 4 secciones: 1) valoración de la actividad ciencia para los caficultores (dimensión de actitudes y valores hacia la CyT); 2) reconocimiento por parte del campesino de las personas e

instituciones que hacen ciencia (dimensión institucional de la CyT); 3) relación entre ciencia y el quehacer productivo (dimensión de hábitos informativos y culturales, formación en ciencia, y habilidades para solucionar problemas y tomar decisiones informadas); y 4) participación ciudadana (motivaciones para participar en CyT).

En total se plantearon 18 preguntas (16 preguntas de selección múltiple y dos preguntas abiertas), de las cuales 10 fueron tomadas de la IIIENPP-CyT realizadas por el Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología (Daza-Caicedo et al., 2014), y ocho fueron de construcción propia con el propósito de indagar si el encuestado reconoce que aplica ciencia y tecnología en sus prácticas de producción de café. No obstante, el cuestionario no incluye preguntas relacionadas con la dimensión de comprensión de contenidos de conocimiento científico.

La encuesta se aplicó de manera presencial a 22 personas de la vereda Guacharaquero del municipio de Ituango en noviembre de 2022, se realizó mediante una visita a sus propias fincas dado que la población presenta diferentes grados de lecto-escritura, que requirieron en algunos casos de acompañamiento para llenar la encuesta. La encuesta se complementó con un registro de impresiones y narrativas manifestadas por los encuestados, las cuales se utilizaron como fuente de información y análisis.

Los datos recolectados se visualizaron a través de Looker Studio, y se analizaron descriptivamente calculando los porcentajes para alternativas de respuesta de cada pregunta, mismos que fueron comparados con los obtenidos en la IIIENPP-CyT. Debido a que el objetivo del estudio era evaluar la comprensión de las preguntas, no se realizó cálculo de indicadores.

### 3. RESULTADOS Y/O DISCUSIÓN

En el estudio participaron 22 personas, en un rango de edad entre 19-74 años, de las cuales el 59,1% eran de sexo masculino y 40,9% de sexo femenino. Del total de participantes, el 27,3% cursó la básica primaria completa y el 13,6% la básica secundaria completa y tan solo el 4,5% alcanzó un nivel técnico en su formación académica.

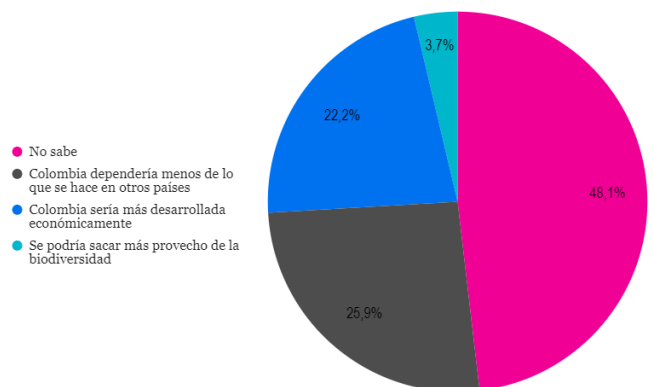


**Figura 1.** Edad y nivel educativo de los 22 encuestados de la comunidad rural caficultora en la vereda Guacharaquero del municipio de Ituango. Encuesta realizada durante el mes noviembre de 2022.

#### 3.1 Valoración de la actividad ciencia para los caficultores

En cuanto a las preguntas que indagaban sobre la valoración de la ciencia como actividad, y conociendo el carácter eminente práctico que tienen los caficultores, se averiguó

sobre el por qué y para qué se hace ciencia con la pregunta de la IIIENPP-CyT *¿Por qué cree que es importante que se haga ciencia, tecnología e innovación en el país?*, las respuestas se presentan a continuación.



**Figura 2.** Visualización de respuestas de los caficultores encuestados de la vereda Guacharaquero-Ituango (Antioquia) frente a la pregunta *¿Por qué cree que es importante que se haga ciencia, tecnología e innovación en el país?* Encuesta realizada durante el mes noviembre de 2022

Ninguno eligió las opciones: Habría una sociedad más equitativa socialmente, Se podría sacar mejor provecho de los conocimientos tradicionales, La sociedad sería menos violenta, Se generarían más opciones de empleo o Ninguna de las anteriores.

Es de resaltar que, de manera totalmente inesperada, un 59,09% de los encuestados no se acomodó a las alternativas de selección múltiple y manifestaron otro tipo de respuestas. Algunos encuestados manifestaron que no tienen estudios y por ello “no saben de esas cosas tan modernas” (Eugenia Sánchez), también expresaron total confusión al decir “ponga cualquiera” (Gloria Cristina Mazo) o, como Kelly Johana Zapata, al narrar que a pesar de que en el colegio escuchó algo acerca de ciencia y tecnología, no tiene claro el concepto. Otras respuestas fueron:

- “Cómo así, no entiendo mi hija me explica por favor” (Beatriz Elena Alzate)
- “No conozco sobre eso la verdad no he escuchado del tema, coloqué cualquier cosa” (Ledy del Carmen Guerra)
- “Mi hija yo a fuerza de brega hice hasta segundo, porque me tocó fue trabajar y tampoco me gusto el estudio, por eso yo no conozco de eso” (Gilberto Elías)
- “No sé leer ni escribir menos sobre ciencia y tecnología [...] a mí solo me daban reajo y no estudio” (María Rosalba Chancí)

La situación de este 59,09% de los encuestados es un hallazgo completamente diferente al de la IIIENPP-CyT, pues en esta los encuestados sí hicieron asociaciones con la importancia de la ciencia y les fue posible encontrar respuestas dentro de las opciones dadas, no obstante, para este porcentaje de la comunidad rural de la vereda Guacharaquero, la palabra ciencia ni siquiera es reconocida, y asocian tal desconocimiento a la escasa o deficiente formación educativa que tuvieron en la infancia, sugiriendo que la brecha además



de lingüística puede ser estructural. Por otra parte, los encuestados que si se acomodaron a la selección múltiple coincidieron con las respuestas dadas a nivel nacional, que fueron “Colombia sería más desarrollada (32,62%) y dependería menos de otros países (28,87%)” (Daza-Caicedo et al., 2014, p. 193).

Para continuar con la exploración sobre por qué y para qué se hace ciencia, se realizó la pregunta: *Según usted la ciencia, la tecnología y la innovación se ocupa de los siguientes problemas de la sociedad;* las opciones elegidas en orden decreciente fueron Salud 54,5%, Telecomunicaciones 54,5%, Alimentación 50,0%, Medio ambiente 36,4%, Calidad de vida de las comunidades 36,4%, Astronomía 31,8%, Desempeño de las empresas 31,0%, u otro 0%. Obteniéndose respuestas similares a las de la población encuestada en la IIIENPP-CyT, donde “calificaron en primer lugar el cuidado de la salud y la prevención de enfermedades” (Daza-Caicedo et al., 2014, p. 90).

La comprensión de la ciencia como actividad también se exploró desde la pregunta: *Cree usted que en los próximos veinte años la ciencia, tecnología e Innovación traerán muchos beneficios;* las opciones elegidas fueron: Muchos beneficios 63,6% y No sabe 36,4%; y al indagar por los riesgos que podrían traer, se encontró: Pocos riesgos 40,9%, No sabe 40,9% y Muchos riesgos 9,1%. Analizados en conjunto, estos datos revelan una valoración positiva frente a la ciencia, y son consistentes con las percepciones de los colombianos en la IIIENPP-CyT, al tener en cuenta que en esta encuesta un 75,1% contestaron que la ciencia traerá muchos beneficios; sin embargo, es distante frente a los riesgos dado que el 55,88% consideran que traerá muchos riesgos (Daza-Caicedo et al., 2014, p. 115), mientras que en la comunidad encuestada de Guacharaquero, predominó Pocos riesgos y No sabe.

Esta pregunta se complementó con dos preguntas abiertas: *Me podría dar un ejemplo de un beneficio que haya traído la ciencia y la tecnología a Colombia* y *Me podría dar un ejemplo de un perjuicio que haya traído la ciencia y la tecnología a Colombia*. Se encuentra que un 59,1% no puede expresar un ejemplo, mientras que en la IIIENPP-CyT “el 1,29% respondió ninguno, el 14,01% no sabe y el resto mencionó un total de 4919 palabras” (Daza-Caicedo et al., 2014, p. 115). En la vereda Guacharaquero, nueve personas dieron un ejemplo, lo que corresponde al 40,9% de las personas encuestadas.

Los ejemplos de beneficios que dieron los encuestados fueron: calidad de la educación, educación, mayor aprendizaje, computadores y celulares, aviones, telecomunicaciones, crecimiento económico, la represa de Hidroituango, manejo de suelos e innovación en cultivos. Respecto a los riesgos, los ejemplos dados fueron: gente mediocre, destrucción del medio ambiente, contaminación con llantas, los químicos que dañan el medio ambiente, que los niños se entreguen a los celulares.

Las respuestas en cuanto a los ejemplos de los beneficios son consistentes con la IIIENPP-CyT, donde las palabras más mencionadas fueron relacionadas con la salud y las tecnologías de la información y comunicación; y con menor frecuencia se

encuentra educación, mejor educación, educación a distancia, profesionalización, técnicas de cultivo, fertilizantes, productos agrícolas, agroquímicos y agricultura (Daza-Caicedo et al., 2014). Con relación a los riegos, es alta la coincidencia con las respuestas nacionales donde “afloraron algunas preocupaciones de orden global como la contaminación y el desarrollo de armas [además de] temores relacionados con las TIC” (Daza-Caicedo et al., 2014, p. 120). Los encuestados de la vereda Guacharaquero reforzaron estas percepciones con expresiones donde enfatizan que uno de los mayores riesgos es “la destrucción del medio ambiente” (Kelly Johana Zapata) y “la adicción y el mal uso que las personas le dan a las redes sociales” (Jesús Alcides Sucerquia).

Los nueve encuestados (40,9%) que dieron ejemplos de beneficios y riesgos, denotan un mayor conocimiento de los efectos de la ciencia y son quienes contestaron que hay pocos riesgos en relación con esta, como se muestra en la Figura 2, lo cual confirma la actitud positiva frente a la ciencia.

BENEFICIOS		# PERSONAS	RIESGOS		# PERSONAS
1. MUCHOS BENEFICIOS		9	1. POCOS RIESGOS		9
DAR UN EJEMPLO DE UN BENEFICIO HAYA TRAÍDO LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA A COLOMBIA		# PERSONAS	DAR UN EJEMPLO DE UN PERJUICIO HAYA TRAÍDO LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA A COLOMBIA		# PERSONAS
1.	CALIDAD EDUCACION	3	1.	GENTE MEDIOCRE	3
2.	NO SABE	1	2.	DESTRUCCION MEDIO AMBIENTE	2
3.	CRECIMIENTO ECONOMICO	1	3.	USO INADECUADO TECNOLOGIA	1
4.	MAYOR APRENDIZAJE	1	4.	LA CONTAMINACIÓN CON LAS LLANTAS	1
5.	EDUCACION	1	5.	NO SABE	1
6.	LOS AVIONES Y TELECOMUNICACIONES	1	6.	LOS CELULARES QUE ABSORBEN LOS NIÑOS	1
7.	COMPUTADORES Y CELULARES	1	7.	LOS QUÍMICOS QUE DAÑAN EL AMBIENTE	1
8.	MANEJO DE SUELOS, INNOVACION EN CULTIVOS	1			
SABE QUE ES MINCIENCIAS		# PERSONAS	USTED ¿APRENDIÓ ALGO DE LA NATURALEZA PARA MEJORAR SUS INGRESOS ECONOMICOS?		# PERSONAS
1.	NO	7	1.	SI	9
2.	SI	2			

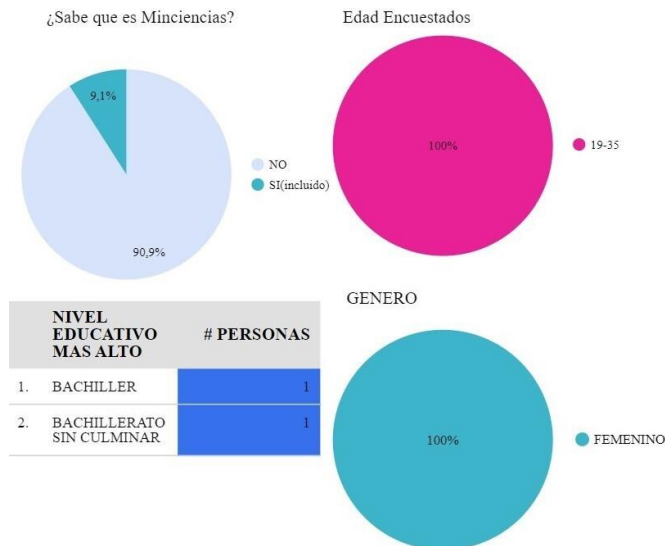
**Figura 3.** Visualización de respuestas de los caficultores encuestados de la vereda Guacharaquero-Ituango (Antioquia) frente a las preguntas *¿Me podría dar un ejemplo de un beneficio que haya traído la ciencia y la tecnología a Colombia?* y *¿Me podría dar un ejemplo de un perjuicio que haya traído la ciencia y la tecnología a Colombia?* Encuesta realizada en el mes noviembre de 2022.

Esto indica que combinar preguntas de selección múltiple con preguntas abiertas son una buena metodología para acercarse a las percepciones propias de los encuestados y profundizar más allá de “lo que saben que se debe hacer (o lo que creen que el entrevistador quiere escuchar)” (Daza-Caicedo et al., 2014, p. 24), riesgo que se corre en este tipo de sondeos.

### 3.2 Reconocimiento por parte del campesino de las personas e instituciones que hacen ciencia

Se formularon preguntas para obtener indicadores de la representación institucional de la ciencia y los actores. Ante la pregunta: *¿Sabe que es Minciencias?*; el 90,90% respondió que no sabían, solamente dos personas habían escuchado de este Ministerio, las dos han cursado bachillerato y las dos son mujeres, como se relaciona en la Figura 3. Este resultado no es distante del nacional, donde se les preguntó “¿Sabe usted qué es Colciencias?” y se encontró que “más de la mitad de la

población encuestada no lo sabe (78,42%) (Daza-Caicedo et al., 2014, p. 201). Pero difiere significativamente del encontrado “en Medellín [...] que presentan los porcentajes más altos de quienes sí saben qué es esta institución” (Daza-Caicedo et al., 2014, p. 203) cuando se hace el análisis de la IIIENPP-CyT por ciudades.



**Figura 4.** Visualización de respuestas de los caficultores encuestados de la vereda Guacharaquero, Ituango (Antioquia), frente a la pregunta ¿Sabe que es Minciencias? y factores demográficos de los encuestados que respondieron afirmativamente. Encuesta realizada en el mes noviembre de 2022.

Otra forma en que se indaga por la institucionalidad de la ciencia fue con la pregunta: *¿Ha tenido contacto con instituciones que hacen ciencia?*, el 73,7% respondieron que No, el 15,8% No sabe y 10,5% Sí.

Las preguntas suscitaron manifestaciones como:

- “A esta vereda no viene nadie que haga ciencia y tecnología” (Ramiro de Jesús Sucerquia)
- “Ese Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación no lo conozco” (Gloria Cristina Mazo)

Estos resultados son llamativos puesto que según el informe de indicadores de CTel 2020, Antioquia es uno de los departamentos donde se concentra el 81% de las actividades de generación, difusión y uso del conocimiento en Colombia, junto con Bogotá, Valle del Cauca, Santander, Bolívar y Atlántico (Muñoz-Dávila, 2020), y también lo confirma el Índice Departamental de Innovación de Colombia 2021, donde Antioquia ostenta el segundo puesto (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2021).

Las respuestas sugieren que no hay escenarios que posibiliten una relación del caficultor de la vereda Guacharaquero, con la ciencia ni con investigadores. Si la palabra ciencia -como concepto- es lejana para la mayoría de los caficultores encuestados, la institucionalidad científica tradicional, es aún más invisible y ausente en el entorno rural consultado. El hecho que la palabra ciencia no se encuentre dentro del universo lingüístico de algunos caficultores denota que este tema no se plantea en la cotidianidad, y sugiere que la

formación en ciencia es muy diferente cuando es llevada al campo que cuando es llevada a la ciudad. Esto evidencia que indagar sobre el significado de la ciencia, en una comunidad campesina, es una pregunta que lleva en sí misma una carga tradicional propia de la academia, pues se habla de una ciencia y una forma de producción de conocimientos con un significado que apunta al reconocimiento de la ciencia moderna.

Ante la pregunta: *¿Cuál de las siguientes opciones considera que describen mejor a una persona que hace ciencia?*; un 50,0% de los encuestados consideran que es una persona que le importa el bien de todos, el 39,3% una persona curiosa, el 7,2% una persona solitaria y el 3,5% una persona con un lenguaje muy avanzado. La siguiente expresión refleja el imaginario que tienen sobre una persona que se dedica a la ciencia:

“Una persona debe tener mucha curiosidad para poder innovar y apostarle a la ciencia [...] lo más importante en un profesional, además de su conocimiento, es la calidad humana y la implementación de sus valores y principios” (Jesús Alcides Sucerquia)

Resalta en estas respuestas que se reconoce la motivación ética del investigador y la curiosidad, resultados que coinciden con lo encontrado en la encuesta nacional donde la imagen de un científico es de una persona apasionada por su trabajo y una persona curiosa, además los “estereotipos tradicionales según los cuales los científicos son personas solitarias o rigurosas no pesaron tanto en las respuestas” (Daza-Caicedo et al., 2014, p. 106). Ahora bien, un aspecto a resaltar, que se observó en las encuestas realizadas en Colombia, es “que prevalece a pesar de todo, una mirada optimista [...] pero también de la ingenuidad con que se alaba aquello que se desconoce o se conoce sólo de oída” (Aguirre-Guzmán, 2013, p. 19).

### 3.3 Relación entre ciencia y tecnología con el quehacer productivo.

Al tener en cuenta que la formación en ciencias se desarrolla tanto en espacios formales como informales, donde la familia y los medios de comunicación actúan como actores para la transferencia de conocimientos y la formación de capacidades para tomar decisiones, se tomaron algunas preguntas de la IIIENPP-CyT y se complementaron con otras enfocadas en la caficultura.

La pregunta: *¿En su infancia le inculcaron...?* se acompañó de un listado de valores y habilidades, en el que se dió un peso semejante a todas las alternativas de la selección múltiple, así: Obediencia 75,0%, disciplina 71,4%, solidaridad 71,4%, reconocer que hay muchas causas y varias formas de solucionar problemas 71,4%, capacidad de asombro 67,9% y creatividad 60,7%. Lo que se mantiene cercano a la IIIENPP-CyT, pues en dicho caso las respuestas oscilaran entre 97,44 – 60,88%, evidenciando que “el valor más inculcado a los colombianos en casa es la obediencia y los menos: creatividad, curiosidad y pensamiento crítico” (Daza-Caicedo et al., 2014, p. 95). Sin embargo, en el grupo poblacional de la vereda

Guacharaquero, no se observaron diferencias por edades, a pesar de que los encuestados estaban en un rango de edades de 19-74 años, ni tampoco se encontraron diferencias por género.

Se destaca que esta pregunta activó memorias que develan las condiciones difíciles que enfrentaron estos campesinos en su infancia, donde el aprender estaba enfocado hacia el trabajo.

En la búsqueda de evidenciar si la formación en ciencias la encuentran en los medios de comunicación, se hizo la siguiente pregunta adaptada a su labor productiva: *¿Con cuál de los siguientes medios usted se informa sobre la ciencia y tecnología relacionada con el café?*; se encontró que un 86,4% se informa a través de la televisión, un 59,1% en capacitaciones, un 22,7% en internet, un 18,2% a través de la radio y un 9,1% en la tienda agropecuaria, se resalta que nadie manifestó informarse a través de periódicos o revistas.

Se destaca en estos resultados la importancia que le dan a las capacitaciones como proceso de comunicación social de la ciencia, mientras que los demás resultados son consistentes con los de la IIIENPP-CyT. Adicionalmente, se corrobora que los caficultores tienen una alta disposición al aprendizaje y a dedicar tiempo a espacios de formación que desde la institucionalidad se proporcionen. Llama la atención que la radio no tenga un mayor porcentaje en las respuestas, dado que su uso es frecuente en el territorio, por lo que es importante considerar que haya interferido el enfoque de la pregunta hacia el tema específico de café. Cuando se les pidió un ejemplo mencionaron en mayor proporción a TVAGRO y en menor participación Teleantioquia, Caracol y RCN; además destacaron en sus relatos que por intermedio de los noticieros se informan sobre el valor del café como indicador económico.

Dado que los encuestados pertenecen a una comunidad de caficultores, cuya actividad productiva está orientada a la obtención de un producto de alta calidad, se formularon preguntas para obtener información de cómo asocian la ciencia y la tecnología, en la toma de decisiones que demanda su actividad productiva.

Dos preguntas orientadas en este sentido fueron: *¿cuándo trabaja el café, siente que en está haciendo ciencia y tecnología?*; en la cual un 86,4% responde que sí y un 14,4% que no sabe. Y, *¿Usted ha aprendido algo de la naturaleza para mejorar sus ingresos económicos?*; donde el 92,8% manifestó que sí y en 7,2% que no sabe. Es importante considerar que para ambas preguntas ningún encuestado eligió el no como respuesta.

En ambas preguntas se encontraron respuestas que reafirman el postulado de que la comunidad rural caficultora usa el conocimiento para resolver situaciones de la vida cotidiana y como medio para obtener recursos y mantener sus familias, pues afirman que viven del café y de la tierra. Posiblemente este tipo de preguntas les permita reconocer que su relación con el proceso productivo del café es una relación mediada por el conocimiento, como lo deja ver Yanely Jaramillo al afirmar que,

“Con el café hay muchas formas de innovar y mejorar los ingresos económicos y que para ello los caficultores necesitan mucha capacitación para aprender y colocar esos conocimientos en práctica [...] Es fundamental la educación para poder tener ciencia y poder innovar”

Esta expresión denota con claridad que se conoce la relación directa existente entre ciencia y desarrollo económico. Y dado que el café es uno de los renglones económicos más importantes del país, es entendible que los caficultores demanden mayor formación para innovar y ser más competitivos. No obstante, las expresiones de desconocimiento de la palabra ciencia, vuelven a asomar en estas preguntas cuando expresan que, aunque conocen mucho sobre el café, no saben nada sobre ciencia, tecnología e innovación. Lo que resulta llamativo al considerar que su actividad productiva involucra procesos, maquinaria e insumos químicos, demuestran que no se asocian las palabras ciencia y tecnología a la vida cotidiana. Esto se ratifica con expresiones como la del caficultor Dimar Andrés Pérez al preguntar *“¿cómo podría llegar a hacer ciencia y tecnología en mi cultivo?”*

También se indagó por las problemáticas en la cosecha a través de la pregunta: *¿Cuándo tiene un problema con la cosecha o beneficio del café que requiere solución ¿a quién acude?*; las repuestas fueron: familia y amigos con un 54,0% y alguna asociación o cooperativa con un 46,0%, pero no se seleccionó profesor, universidad, internet, alcalde, líder, ni tampoco se mencionó otra alternativa. Estas respuestas evidencian que los caficultores resuelven problemas entre ellos, reconociéndose como sabedores y portadores de conocimiento, lo que se valida con manifestaciones como: *“Me siento orgulloso de compartir mis conocimientos y aprender de personas con cargos profesionales”* (Jesús Alcides Sucerquia). Dejan claro que en su actividad productiva el aprender es una constante, y el no acudir a otras instancias puede deberse, más que a una elección, a la baja presencia que tienen las instituciones para los ciudadanos del área rural.

Los encuestados fueron prolíficos en sus manifestaciones expresando *“Me gustaría aprender más de procesos de tueste y molienda de café”* (Dimar Andrés Pérez), o que les gusta recibir visitas de los extensionistas de campo para asesorarse y aprender buenas prácticas del café (Eugenia Sánchez). Además, estos deseos de formarse revelan las dinámicas socioeconómicas emergentes en la región, con manifestaciones como *“El cambio de ser minero a caficultor es muy duro porque con el café se ve la plata cada año y hay más gastos y con el oro se tenía plata todos los días entonces es muy maluco”* (Beatriz Álzate). En estos relatos de los caficultores sobresale su disposición al aprendizaje y a la mejora constante de las prácticas, reconociendo la importancia de la formación, que les podrían brindar las instituciones, en su labor productiva.

Ante la pregunta: *¿Ha experimentado con nuevos procesos en la postcosecha de café?*; un 7,3% manifestaron que sí, un

63,6% que no, y un 9,1% que no sabe. Y se encontraron respuestas como:

“Vamos a experimentar nuevas cosas con el café pues a mí me gusta tomarlo y veía como mi mamá tostaba café cuando yo era niña. Este año voy a ensayar para tostar café en mi casa y ver cómo me va” (Beatriz Álzate).

En esta indagación por las relaciones de la ciencia y tecnología con su quehacer productivo, se incluyó la pregunta: *Señale qué tanto conoce sobre los siguientes temas*, la cual estaba acompañada de un listado de temas relacionados con el café, cuyas respuestas se muestran en la Tabla 1. Es de resaltar que no seleccionaron las opciones: conoce poco, conoce o muy conocedor, sino que se seleccionaron de forma binomial las dos opciones opuestas (no conoce y experto).

**Tabla 1.** Respuestas de los caficultores encuestados de la vereda Guacharaquero, Ituango (Antioquia) en el mes de noviembre 2022, frente a la consulta: *Señale qué tanto conoce sobre los siguientes temas:*

Listado de temas	no conoce %	conoce poco %	conoce %	muy conocedor %	experto %
Recolección del café especial	68,2				31,8
Despulpado del café especial	77,3				22,7
Fermentación del café especial	86,4				13,6
Secado del café especial	77,3				18,2
Almacenamiento del café especial	86,4				13,6
Tueste del café especial	86,4				13,6
Molienda del café especial	86,4				13,6
Preparaciones del café especial	86,4				13,6

Como se aprecia en la Tabla 1, la declaración de experto disminuye a medida que la cadena de valor avanza hacia las fases de transformación del café, lo que concuerda con el hecho que Colombia es un país productor de café como materia prima y como tal no se han formado suficientes capacidades para su transformación. Lo que da sustento a la idea de que la cadena global del café está distribuida geográficamente

estableciéndose zonas productoras ubicadas en zonas tropicales con altos niveles de pobreza y marginación; y zonas importadoras donde se encuentran los principales tostadores y/o procesadores, negociantes, comercializadores y distribuidores. El 90% del café

que se exporta a nivel mundial corresponde a café grano verde sin procesar y la mayor parte del valor se crea en los países importadores de café (Aedo et al., 2023, p. 29).

Por otro lado, la respuesta a esta pregunta también es un indicador de las falencias de formación en ciencia y tecnología, que se deben subsanar para lograr mayores índices de competitividad y para que la ciencia tenga un impacto en el desarrollo económico del país. Además, la tendencia a una respuesta dicotómica denota una mirada determinista en cuanto al desarrollo de habilidades: se tiene o no se tiene una habilidad. No se concibe que el desarrollo de competencias es un proceso que requiere sostenerse a mediano plazo.

Es importante considerar que tecnicismos como postcosecha y café especial, usados en esta pregunta, pudieron haber generado confusión e impactado las respuestas de los caficultores. De ahí que una de las principales observaciones a este tipo de encuestas, es la de aprender a separar los tecnicismos de los conceptos que se quieren investigar, especialmente en contextos rurales.

También se diseñaron preguntas para reconocer otras actividades y gustos de los encuestados hacia diferentes áreas que aportan al desarrollo de habilidades cognitivas, como se describen en la Tabla 2. Sobresale que declaren el gusto por escribir, lo cual es un buen hallazgo porque confirma que la encuesta puede ser un instrumento para reconocer las percepciones.

**Tabla 2.** Respuestas de los caficultores encuestados de la vereda Guacharaquero, Ituango (Antioquia) en el mes de noviembre 2022 frente a consulta sobre a preferencias por otras actividades

Pregunta	Sí %	No %	No sabe %
Le gusta dibujar	36,4	63,6	
Le gusta escribir	72,7	27,3	
Le gusta contar historias	54,5	45,5	
Le gusta tomar fotos	45,5	54,5	
Le gusta escuchar música	100,0	0,0	
Toca algún instrumento	0,0	100,0	
¿Cuál instrumento?			

Es importante resaltar, de acuerdo con investigaciones como la de Palacios et al. (2020 p. 51), que “la innovación en el sector cafetero está asociada a la competitividad del mismo” y, en este sentido, las herramientas que se pueden brindar desde la ciencia y la tecnología permitirían a los caficultores generar procesos de innovación, que doten sus productos de un valor agregado al aumentar las posibilidades de que se acorte la cadena productiva del café y, de esta manera, las comunidades reciban un mayor reconocimiento económico y simbólico por su labor.

### 3.4 Participación Ciudadana

Al considerar que la comunidad encuestada se dedica a una actividad productiva que les exige altos niveles de calidad, es de gran relevancia el acercamiento a la gestión del conocimiento y la innovación. Por ello, se indagó en torno a

las motivaciones para participar en ciencia con las siguientes preguntas, tomadas de la IIIENPP-CyT.

Se preguntó, por un lado: *En caso de ser invitado a una reunión para tomar decisiones sobre impactos de la ciencia y tecnología ¿usted asistiría?*; encontrando que el 100% de los encuestados manifestó que sí asistiría. Y por otro: *Si una universidad quisiera investigar con usted, ¿usted que haría?*, se encontraron las siguientes respuestas: con un 50,0% brindaría información a la investigación, con un 31,8% pediría que los hallazgos de la investigación sean compartidos con usted, con un 27,3% pediría ser tenido en cuenta a la hora de decidir qué soluciones aplicar y con un 18,2% no podría hacer mucho, los expertos sabrán qué hacer. En estas respuestas no se encontró la situación descrita en la IIIENPP-CyT, en relación con que “hay una tensión generalizada entre “brindar información a la investigación” versus “no podría hacer mucho” (Daza-Caicedo et al., 2014, p. 173).

En la IIIENPP-CyT, “los etnógrafos señalan que a muchos de los encuestados no se les notó un interés real frente a las preguntas de participación ciudadana” (Daza-Caicedo et al., 2014, p. 168). En el caso de la población de Guacharaquero se encontró que no priorizaron que sea un asunto de expertos, además en sus manifestaciones durante toda la encuesta, descritas anteriormente, fueron insistentes desde la demanda, el deseo y el agrado a que se les brinde formación en su territorio para mejorar, es decir, son insistentes en solicitar participación social.

Ante la pregunta *¿Cómo se siente en reuniones con otras personas como por ejemplo profesores, alcalde, sacerdote, técnicos?*, las respuestas fueron: la mayoría de las veces siente que se reconoce su saber para analizar la situación y tomar decisiones con un 86,4%, la mayoría de las veces siente que puede hacer equipo con ellos con un 81,8%, la mayoría de las veces se siente orgulloso de compartir su saber con un 86,4% y alguno de ellos le ha pedido que le enseñe lo que usted sabe con un 81,8%. Resalta la percepción positiva sobre su desempeño en reuniones con personas que representan autoridad académica.

Las respuestas a estas tres preguntas revelan que hay confianza en las instituciones e indican un alto interés por participar en asuntos relacionados con la ciencia, tecnología e innovación, que genera una oportunidad para que desde la institucionalidad se contribuya al desarrollo de nuevas capacidades en el territorio que fortalezcan y mejoren los procesos productivos en el territorio.

### 3.5 Análisis global de los resultados

La evaluación de percepciones de la ciencia es un asunto de alta complejidad, por eso en este estudio se tomaron preguntas de encuestas ya validadas que dan cuenta del fenómeno que se quiere analizar. En dichas encuestas se había identificado la influencia del grado de escolaridad (Delgado-Hurtado et al., 2016), por eso, al llevarlas a una población rural se consideró necesario realizar primero una prueba piloto que evidenciara las fortalezas y retos de la ruralidad en relación con este tipo

de encuestas, al permitir desde allí, proyectar un estudio más amplio.

En las dimensiones de análisis: *valoración de la ciencia y conocimiento de la institucionalidad*, efectivamente, se encontró un porcentaje importante de encuestados que responde no saber o que no pueden dar un ejemplo en las preguntas abiertas, este es superior a lo reportado en la IIIENPP-CyT lo que indica que para un alto porcentaje de los encuestados en esta prueba piloto la palabra ciencia no existe. Las narrativas registradas describen con mayor nitidez este fenómeno, y evidencian que en relación con la percepción de la ciencia y la tecnología existe una brecha lingüística entre zonas rurales y urbanas. Esta brecha lingüística no se había encontrado en otras encuestas realizadas en Iberoamérica, pues en estas, las respuestas de los encuestados “configuran un mapa rico y complejo en matices, en el que las valoraciones positivas —indicadores de autoridad cultural—coexisten con críticas moderadas” (Polino y Castelfranchi, 2019, p. 115), que indican conocimiento en torno a la palabra ciencia.

Los encuestados que se acomodaron a las alternativas de selección, se caracterizan por su percepción positiva frente a la importancia de la ciencia y las instituciones, lo cual ha sido muy característico de las encuestas realizadas en Bogotá y Sao Paulo, frente a otros países Iberoamericanos (Polino, 2015a).

En las dimensiones: *participación ciudadana y relación ciencia y quehacer productivo*, las respuestas ponen de relieve la importancia que le dan los encuestados a la formación en ciencia y la alta motivación existente hacia la participación. Allí radica un gran potencial para dotar de fuerza a las zonas rurales a través de la apropiación social de la ciencia y tecnología, lo que permitiría a estas comunidades desarrollar modos de subjetivación singulares, despertar la imaginación y alterar el sentido común para desmontar estereotipos y mitos respecto a la ciencia y tecnología (Dávila-Rodríguez, 2020), lo que abre grandes posibilidades para fortalecer sus procesos productivos.

Además, en las narrativas sobresale la capacidad de los encuestados para reconocer sus dificultades y necesidades de formación en ciencia con el propósito de generar valor agregado a sus productos. Esta demanda constante en sus manifestaciones puede leerse como una percepción de que la ciencia les permitiría desempeñarse mejor en su vida cotidiana, reafirmando su valoración positiva hacia la ciencia como un medio para comprender la realidad y mejorar su calidad de vida. Esta demanda cobra sentido si se tiene en cuenta que el precio del café es fijado “por un complejo sistema de certificaciones y sellos de calidad, consejos de expertos, guías, clasificaciones, rankings y redes para emitir juicios y hacer las evaluaciones [...] a pesar de los avances que se han realizado en materia de certificación, existe una gran mayoría de productores no certificados” (Aedo et al., 2023, p. 30).

En cuanto al grado de comprensión de las preguntas y alternativas de respuesta, se encontró que es necesario modificar el lenguaje de la encuesta y complementarla con otras metodologías participativas, como grupo focales, para

llegar a las percepciones de ciencia y tecnología en comunidades caficultoras de otras veredas de Ituango o zonas rurales del país. Lo anterior evidencia la importancia de “reconocer que el lenguaje determina los sistemas semióticos en los cuales discurre la vida humana” (Quintero, 2018, p. 43), es decir, el lenguaje no es simplemente una herramienta para comunicarse, sino que es fundamental en la construcción y el entendimiento de la realidad social, y por lo tanto está determinando por dicho contexto.

De tal manera, la forma en que se formulan las preguntas influye directamente en cómo los encuestados se relacionan, interpretan y responden a la encuesta, por lo que, si el lenguaje no está bien adaptado, puede llevar a malentendidos o respuestas menos precisas. Por ello, es necesario que el lenguaje de la encuesta refleje mejor la realidad y el contexto de los encuestados.

Ahora bien, se hace evidente la necesidad de conocer las percepciones de ciencia y tecnología de la comunidad caficultora del país. Esta comunidad, compuesta por 500.000 caficultores con fincas menores a 5 ha, son quienes han mantenido a Colombia como un abanderado en la producción mundial de café (Rubio-Jovel, 2024) y, por tanto, en estas encuestas se hace necesario involucrar preguntas orientadas a identificar y reivindicar los saberes que se generan en los territorios rurales, con el fin de que después de identificados, se haga posible el diálogo de saberes para fortalecer e introducir nuevas capacidades científicas y tecnológicas.

El conocimiento campesino tiene gran valor para el desarrollo socioeconómico del país, no obstante, su reconocimiento y valoración no es alta. Schmelkes (2006) hace mención de que el saber tradicional también es un conocimiento científico en la medida en que se ha podido demostrar su utilidad y funcionamiento, incluso, a pesar del supuesto de que la única vía válida para ello es la ciencia moderna, y desde mediados de los años 50, George Murdock citado por Beaucage (2000 p.48) llamó Etnociencia a “las nociones especulativas y populares acerca de los fenómenos del mundo”. Si bien el reconocimiento de los saberes comunitarios sigue en un segundo lugar en el campo del conocimiento, las comunidades han legitimado sus propias formas de hacer, pensar, interpretar y transmitir sus saberes, lo que les ha permitido sostener su propio desarrollo a pesar de la exclusión económica y política que se vive a diario en el campo.

#### 4. CONCLUSIONES

Este estudio permitió reconocer la necesidad de adaptar el lenguaje de la encuesta y de complementarla con otras estrategias metodológicas que permitan mayor acercamiento a la riqueza oral de los territorios rurales para acceder a las percepciones de la ciencia y la tecnología en comunidades rurales.

Al comparar descriptivamente la encuesta piloto en la comunidad rural de Guacharaquero con la IIIENPP-CyT realizada en ciudades se encontró una brecha significativa en la percepción y comprensión de la ciencia entre zonas rurales

y urbanas en la *valoración de la ciencia*. Un alto porcentaje de encuestados en áreas rurales no puede definir o ejemplificar el término "ciencia", lo que sugiere que este concepto no está presente en su vida cotidiana.

En las dimensiones *reconocimiento de la institucionalidad y participación ciudadana*, se encontraron respuestas que revelan que hay confianza en las instituciones e indican un alto interés por participar en asuntos relacionados con la CyT, por lo que sería interesante indagar por el cambio de comportamiento y de respuestas, cuando se pone a disposición de la comunidad entrevistada escenarios para desarrollar actividades cercanas a la ciencia y tecnología.

En cuanto a la *relación entre ciencia y tecnología con el quehacer productivo*, los caficultores mencionaron la importancia del aprendizaje y mejora constante de sus prácticas y permanentemente demandaron la necesidad de mayor formación. Los caficultores reconocen en sus términos que, para aumentar la competitividad en la caficultura, es fundamental integrar más ciencia y tecnología para cumplir con los estándares de calidad e innovación de la cadena global.

Por último, se agradece a los y las campesinas que expresaron total disposición para contar las historias de vida como campesinos y caficultores. Estos resultados hacen parte del proyecto: Incremento de la competitividad de los caficultores mediante el fortalecimiento de capacidades en CTel del municipio de Ituango, BPIN 2020000100301 del Sistema General de Regalías.

#### REFERENCIAS

Aedo, M., Sotomayor, O., Rodrigues, M., Wander, P., Rodríguez, A., y Sánchez, J. (2023). Productos básicos y agregación de valor en la estrategia agroalimentaria de América Latina: el caso de la soja y el café. Documentos de proyectos. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://repositorio.cepal.org/6d0b68f39>

Aguirre-Guzmán, J. P. (2013). La percepción que tienen los colombianos sobre la ciencia y la tecnología. Colciencias. <https://repositorio.minciencias.gov.co/3c96ba76c705>

Beaucage, P. (2000). La etnociencia, su desarrollo y sus problemas actuales. *Revista Cronos* 3(1), 47-92. <https://csic.es/10261/101177>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2013). *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe*, 2014. <https://repositorio.iica.int/11324/2537>

Dávila-Rodríguez, L. (2020). Apropiación social del conocimiento científico y tecnológico. Un legado de sentidos. *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad* 12(22), 127-147. <https://doi.org/10.22430/21457778.1522>

- Daza-Caicedo, S., Lozano-Borda, M., Bueno, E., Gómez-Morales, Y., Salazar, M., Jaime, A., Aguirre, J., Rueda, R., Franco-Avellaneda, M., Rincón, O., Pérez-Bustos, T., Farías, D., Suárez, R., Osorio, C., *Sistemas Especializados de Información (SEI)*. (2014). Percepciones de las ciencias y las tecnologías en Colombia. Resultados de la III Encuesta Nacional de Percepción Pública de la Ciencia y la Tecnología. Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología (OCyT). <http://repositorio.colciencias.gov.co/11146/291/220>
- Delgado-Hurtado, C., Osorio-Marulanda, C. A., Rengifo-Rodas, C. F., & Mosquera-Restrepo, J. (2016). The perception of colombians about science and technology according to their education level: professional and non-professional population. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* (80), 21-30. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.n80a03>
- Diez, L. F., Valencia, J. A. y Villa E.M. (2015). Promoción de la cultura investigativa como motor de desarrollo económico y social: una visión sistémica. *Espacios* 36(01), 3-22. <https://www.revistaespacios/15360103>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2021). Índice Departamental de Innovación de Colombia 2021. <https://www.dnp.gov.co/direccion-innovacion-desarrollo>
- La Red de Popularización de la Ciencia y la Tecnología para América Latina y el Caribe (La red POP). (2008). *Ciencia, Tecnología y Vida Cotidiana. Reflexiones y Propuestas del Nodo Sur de la Red Pop.* <https://redpop/divulgacion-ciencia/libros-y-tesis>
- Muñoz- Dávila, M.A. (2020). *Indicadores de Ciencia y Tecnología e Innovación, Colombia 2020.* Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología. <https://ocyt.org.co/indicadoresctei2020>
- Ortega, E. y Solano, E. (2023). Inequidad en la educación rural en Colombia: Revisión de literatura. *Revista Científica Multidisciplinar* 7(1), 7257-7274. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i1.4961](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4961)
- Palacios, L., Arboleda Muñoz, G., Portela-Guarín, H., y Villada Castillo, H. (2020). Sistematización de Experiencias en Apropiación de Conocimiento con Caficultores de Colombia. *Revista De Gestão Social E Ambiental*, 14(1),38–55. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v14i1.2344>
- Polino, C. (2015a). *Manual de Antigua: indicadores de percepción pública de la ciencia y la tecnología.* Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología. <https://oei.int/publicaciones/manual-de-antigua>
- Polino, C. (2015b). *Las encuestas de percepción pública de la ciencia en América Latina: estructura, evolución y comparabilidad.* En Massarani, L. (Ed.), *RedPOP: 25 años de popularización de la ciencia en América Latina* (1 ed., pp. 97-109) RedPOP, UNESCO. <https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/libros8>
- Polino, C., y Castelfranchi, Y. (2019). Percepción pública de la ciencia en Iberoamérica. Evidencias y desafíos de la agenda a corto plazo. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad-CTS* 14(42), 115-136. <https://ojs.revistacts.net/index.php/CTS/article/view/136/128>
- Quintero, M. (2018). *Usos de las narrativas, epistemologías y metodologías: Aportes para la investigación.* Repositorio Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Rubio-Jovel, K. (2024). Coffee production networks in Costa Rica and Colombia: A systems analysis on voluntary sustainability standards and impacts at the local level. *Journal of Cleaner Production* 445. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141196>
- Santiago-Vera, T., García-Millán, M., y Michael-Rosset, P. (2018). Enfoques de la resiliencia ante el cambio climático. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 15(4), 531-539. Obtenido de la Scientific Electronic Library Online.
- Schmelkes, S (2006). El conocimiento campesino. *RMIE*, 11(28), 333-337. Obtenido de la Scientific Electronic Library Online.

## Mecanismo De Pago Por Servicios Ambientales Del Páramo Sabana Rubia En El Municipio De Manaure Departamento Del Cesar.

Emilyn del Carmen Rodríguez Chamorro<sup>1</sup>, Liseth Karina Posado Solano<sup>1</sup>, Karina Paola Torres Cervera<sup>1(\*)</sup>  
Pedro Juan Torres Flores<sup>1</sup>, Paul Klement Arias Ruidiaz<sup>1</sup>.

*1Universidad Popular del Cesar, Facultad de Ingeniería y Tecnológicas, Valledupar, Colombia*

**Resumen:** El presente estudio propone un Mecanismo de Pago por Servicios Ambientales (PSA) para la conservación del Páramo Sabana Rubia, en el municipio de Manaure, Cesar. El objetivo principal es diseñar un esquema que incentive la preservación de los valores ecosistémicos mediante compensaciones económicas o en especie. La metodología incluyó un enfoque cuantitativo, con la aplicación de encuestas y el uso de la Valoración Económica Ambiental y Contingente, sustentada en la Regresión Lineal Múltiple. Se empleó un muestreo aleatorio simple para seleccionar a los participantes de las encuestas, y se aplicaron análisis econométricos para estimar la disposición a pagar (DAP) de los habitantes locales. Los resultados indican que la disposición de pago promedio ajustada es de 1.400 pesos colombianos por familia, y la relación costo-efectividad es de 1,29. Se priorizaron 4.449,18 hectáreas para conservación y restauración. Con base en estos hallazgos, se recomienda implementar un esquema de PSA que contemple una estrategia de financiamiento mixta para garantizar la sostenibilidad a largo plazo. Concluimos que la conservación del páramo es viable a través de un esquema adaptado a las condiciones socioeconómicas locales y con una participación comunitaria activa.

**Palabras clave:** Conservación y restauración, Disposición de Pago, Participación comunitaria, Servicios Ambientales, Valor de Beneficio.

Recibido: 16 de mayo de 2024. Aceptado: 3 de septiembre de 2024.

Received: March 9th, 2024. Accepted: September 3rd, 2024.

## Payment Mechanism for Environmental Services in the Sabana Rubia Páramo in the Municipality of Manaure, Department of Cesar.

**Abstract:** This study proposes a Payment for Environmental Services (PES) mechanism for the conservation of the Sabana Rubia Páramo, located in the municipality of Manaure, Cesar. The main objective is to design a scheme that incentivizes the preservation of ecosystem values through economic or in-kind compensations. The methodology included a quantitative approach, applying surveys and using Environmental and Contingent Economic Valuation, supported by Multiple Linear Regression. A simple random sampling method was used to select survey participants, and econometric analyses were applied to estimate the local residents' willingness to pay (WTP). The results indicate that the average adjusted WTP is 1,400 Colombian pesos per family, and the cost-effectiveness ratio is 1.29. A total of 4,449.18 hectares were prioritized for conservation and restoration. Based on these findings, we recommend implementing a PES scheme that includes a mixed financing strategy to ensure long-term sustainability. We conclude that the conservation of the páramo is feasible through a scheme adapted to local socio-economic conditions and with active community participation.

**Keywords:** Conservation and Restoration. Payment Disposition, Community Participation, Environmental Services, Value of Benefit.



## 1. INTRODUCCIÓN

El presente artículo científico se centra en el diseño de un Mecanismo de Pago por Servicios Ambientales (PSA) para el páramo Sabana Rubia, ubicado en la Serranía de Perijá, dentro del municipio de Manaure Balcón del Cesar, Colombia. Este ecosistema, de relevancia ecológica y socioeconómica, provee múltiples servicios ambientales esenciales, tales como la regulación hídrica, la conservación de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático, lo que lo convierte en un componente clave para el bienestar de las comunidades locales y regionales. No obstante, este páramo enfrenta serias amenazas debido a la expansión agrícola no planificada, el aumento descontrolado del turismo y la sobreexplotación de los recursos naturales, problemas que se han exacerbado tras la apertura de nuevas rutas hacia la región, que anteriormente estaba protegida por la presencia de grupos armados.

El reconocimiento de la importancia de los servicios ecosistémicos que brinda el páramo Sabana Rubia, en particular el suministro de agua para las comunidades locales, motivó la necesidad de desarrollar un esquema que permita compensar las buenas prácticas de conservación y restauración, promoviendo así un equilibrio entre el aprovechamiento de los recursos y la protección del ecosistema. Este estudio, mediante un enfoque metodológico riguroso basado en la valoración económica contingente, se orienta a medir la disposición de la población beneficiaria a pagar por los servicios ambientales de la vereda Sabana Rubia. Además, busca identificar las estrategias más adecuadas que garanticen la conservación de los recursos naturales y el bienestar económico y social de las comunidades involucradas.

Este artículo también aborda la caracterización detallada del entorno biofísico y social del páramo, destacando los desafíos económicos y socioculturales que enfrentan los habitantes locales para implementar actividades sostenibles. Entre las principales barreras encontradas se destacan la limitada accesibilidad a las zonas de estudio, así como la reticencia de ciertos propietarios de tierras a colaborar en el proceso de valoración ambiental. Estas limitaciones revelan la importancia de integrar elementos socioeconómicos en el diseño y ejecución de esquemas de PSA, asegurando que las medidas propuestas sean viables y aceptadas por las comunidades.

Para la estructuración del modelo de PSA, este trabajo se fundamenta en el marco legal colombiano, específicamente en el Decreto 1640 de 2012, la Resolución 1084 de 2018 y el Decreto 953 de 2013, los cuales promueven la conservación de áreas estratégicas como los páramos. Asimismo, el estudio hace uso de herramientas avanzadas como el análisis de datos espaciales con ArcGIS y métodos estadísticos robustos para evaluar la viabilidad económica y ambiental del esquema propuesto, utilizando modelos econométricos basados en la regresión logística y la estimación del valor de la disposición a pagar.

El objetivo principal de este trabajo es caracterizar los servicios ambientales de la vereda Sabana Rubia y los actores involucrados en su gestión, con el fin de diseñar un esquema de Pago por Servicios Ambientales adaptado a las características del ecosistema y las necesidades de las comunidades locales. A su vez, se pretende determinar la disposición de pago de los beneficiarios de estos servicios mediante un enfoque de valoración contingente, lo que permitirá sentar las bases para un esquema de PSA financieramente sostenible y socialmente inclusivo.

## 2. MARCO TEÓRICO

El Estado del Arte en torno a los Mecanismos de Pago por Servicios Ambientales (PSA) se ha desarrollado significativamente en la última década, reflejando una creciente conciencia sobre la importancia de los ecosistemas y su contribución a la economía y el bienestar humano.

Investigaciones destacadas en este campo han abordado tanto aspectos teóricos como metodológicos y prácticos, contribuyendo a un entendimiento más profundo y a la implementación efectiva de estos mecanismos.

Entre los trabajos relevantes, Pedroza y Pérez (2020) elaboraron una propuesta de PSA en el Páramo El Verjón, enfocándose en la identificación, valoración económica de servicios ambientales, y análisis costo-beneficio, revelando una disposición a pagar estimada entre \$1939,87 COP y \$2251,58 COP. Este estudio pionero demuestra la viabilidad económica de los PSA como herramientas para la conservación ambiental.

Por otro lado, Alvarado et al. (2020) se concentraron en el Páramo de la Vereda Romeral, caracterizando el recurso hídrico y estableciendo áreas potenciales para PSA, proponiendo un incentivo anual por hectárea de \$608.644 COP. Este trabajo ofrece lineamientos metodológicos clave para futuras investigaciones y proyectos de PSA.

Lombana (2019) se enfocó en la microcuenca La Hidráulica, proponiendo un esquema de PSA para la conservación y restauración de áreas estratégicas, con un énfasis particular en el servicio de secuestro de carbono. Los resultados subrayan el potencial de los bosques de ribera y sistemas agroforestales en la mitigación del cambio climático.

Mayorga y Caro (2018) diseñaron una metodología para PSA en Samacá, Boyacá, identificando servicios ambientales y determinando su valor económico, social y ambiental. Este proyecto destaca la importancia de la participación comunitaria y la necesidad de un enfoque holístico en el manejo de los servicios ecosistémicos.

El proyecto de Sandoval (2018) ofrece una perspectiva integral sobre los PSA desde el enfoque de sistemas socioecológicos, identificando complejidades y proponiendo variables de estudio para una evaluación más completa de los PSA. Esta investigación resalta la necesidad de considerar la interacción

entre ecosistemas y comunidades humanas en el diseño de esquemas de PSA.

La colaboración entre la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), el Instituto Alexander Von Humboldt y la Unión Europea en el Esquema de Compensación por Servicios Ambientales en los Páramos del Valle del Cauca, constituye un ejemplo real de implementación de PSA, proporcionando valiosas lecciones sobre la operatividad y el impacto potencial de estos mecanismos.

En el ámbito teórico, la clasificación de bienes y servicios según su rivalidad y exclusividad es fundamental para entender los mercados ambientales y la asignación de precios (Fernández & Salazar, 2015; MINAMBIENTE, 2018). Asimismo, la FAO clasifica los servicios ecosistémicos en servicios de abastecimiento, regulación, apoyo y culturales, cada uno esencial para el mantenimiento de los ciclos naturales y la vida humana.

El concepto de Valor Económico Total, que incluye tanto valores de uso como de no uso, y los métodos de Valoración Económica Ambiental, son cruciales para la estimación económica de los servicios ecosistémicos y la implementación efectiva de PSA. Estos fundamentos teóricos y metodológicos proporcionan una base sólida para el desarrollo de mecanismos de PSA que reconozcan y recompensen la preservación y restauración de ecosistemas críticos.

### 3. METODOLOGÍA

El presente proyecto de investigación se inscribe en la línea de "Sostenibilidad y Gestión Ambiental", específicamente en la sublínea de "Gestión Integral de la Biodiversidad y del Patrimonio Ambiental", conforme al acuerdo No. 003 del 8 de julio de 2021 de la Universidad Popular del Cesar. Adoptando un enfoque cuantitativo, este estudio se fundamenta en la medición de fenómenos mediante estadísticas y pruebas de hipótesis, siguiendo un proceso deductivo, secuencial y probatorio que busca analizar la realidad de manera objetiva (Sampieri, 2018). El alcance de la investigación es explicativo, dirigido a comprender las causas detrás de los eventos y fenómenos físicos o sociales, en particular, cómo la comunidad y sus prácticas culturales perciben la transición hacia actividades económicas alternativas para la preservación del Páramo Sabana Rubia (Sampieri, 2014).

La población de estudio abarca las comunidades asentadas en la cercanía del Páramo Sabana Rubia, delimitado por la Resolución 1628 de 2016. La muestra poblacional se determinó mediante un muestreo aleatorio simple, aplicando la fórmula matemática sugerida por Bencardino (2012), considerando el tamaño de la población, el factor de éxito y fracaso, y el nivel de confianza, dada por la fórmula:

$$n = \frac{Z_a^2 N q p}{e^2 (N - 1) + Z_a^2 N p a} \quad (1)$$

Dónde,

$n$  = Tamaño de la Muestra mediante selección aleatoria simple y al azar.

$N$  = es el tamaño de la población o universo (número total de posibles encuestados).

$p$  = es el factor de éxito (normalmente asumido como 50%).

$q$  = es el factor de fracaso (se calcula así,  $q = 1 - p$ ; que para este caso sería 50%).

$Z_a$  = es una constante que depende del nivel de confianza que asignemos. El nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados de nuestra investigación sean ciertos: un 95,5 % de confianza es lo mismo que decir que nos podemos equivocar con una probabilidad del 4,5%.

Los valores de  $Z_a$  se obtienen de la tabla de la distribución normal estándar  $N(0,1)$ .

Aplicando esta fórmula, se calculó la muestra para las comunidades seleccionadas en el área de estudio, obteniendo los siguientes resultados

Tabla 1. Resultados Muestra Poblacional

No.	Municipio / Comunidad	No. Habitantes	Muestra Poblacional
1	Manaure Balcón del Cesar	8991	451
2	San José de Oriente y Betania	1217	341
3	Robles La Paz	20901	464
4	San Diego	18531	462
5	Agustín Codazzi	52992	470

Nota: Elaborado por los Autores (2023), considerando el Censo 2018 del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas – DANE

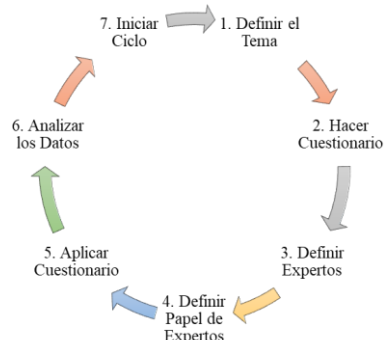
En la práctica, se lograron aplicar 800 encuestas, representando el 36.56% de las 2,188 personas que inicialmente se proyectaron. Esta muestra resultó suficiente para los fines del estudio de Valoración Económica, dado que se encontraron dificultades para recolectar más datos debido a la reticencia de los participantes, quienes en muchos casos consideraron que se trataba de un proceso político. Además, la población de estas comunidades es flotante, con muchos habitantes trabajando en el campo o en otras localidades. Tras la limpieza de los datos realizada por el economista encargado, la muestra final se redujo a 796 encuestas válidas, con las cuales se obtuvieron resultados sólidos.

El diseño de la investigación se orienta hacia un enfoque explicativo, mediante la aplicación de una metodología de Valoración Económica Ambiental y Valoración Contingente, usando la Regresión Lineal Múltiple para contrastar hipótesis de disposición de pago y cálculos de costos de oportunidad y costo-eficiencia. Cada variable independiente se sometió a los supuestos de Gauss-Markov, y se evaluó la probabilidad con Análisis de Varianza (ANOVA) de la regresión (Hallin, 2014).

$$P(Sí / X) = \beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \beta_3 * x_3 + \dots + \beta_n * x_n \quad (2)$$

El desarrollo metodológico comprendió varias fases, iniciando con la caracterización de los servicios ambientales de la Vereda Sabana Rubia y los actores implicados, empleando métodos como revisión bibliográfica, paneles de expertos según la metodología Delphi, y visitas de reconocimiento y zonificación utilizando el Sistema de Información Geográfico

ArcGIS. La estimación del valor del incentivo se basó en el Costo de Oportunidad y otras variables económicas relevantes.



**Figura 1.** Ciclo Progresivo y Jerárquico del Método Delphi

Para el análisis de datos, se utilizó el software STATA, permitiendo la sistematización y análisis estadístico mediante el modelo de Regresión Lineal Múltiple. Este proceso incluyó la construcción de matrices, estimación de coeficientes y análisis de varianza, siguiendo estrictamente los principios de los mínimos cuadrados ordinarios y los supuestos de Gauss-Markov para asegurar la validez de los resultados.

La disposición a pagar (DAP) se calculó utilizando el modelo econométrico desarrollado, ajustado por la mediana de la DAP obtenida de las encuestas, y siguiendo recomendaciones de NOAA (1993) y lineamientos del antiguo Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Esta fase crucial permitió identificar y valorar los beneficios del proyecto, así como establecer fuentes de financiación potenciales, basadas en los lineamientos del Departamento Nacional de Planeación para el diseño e implementación de proyectos tipo PSA para la modalidad hídrica.

Este enfoque, diseño y metodología de investigación proporcionan un marco sólido para evaluar la viabilidad y el impacto del mecanismo de Pago por Servicios Ambientales en el Páramo Sabana Rubia, integrando aspectos teóricos, metodológicos y prácticos para una gestión ambiental sostenible y efectiva.

#### 4. RESULTADOS Y/O DISCUSIÓN

En el estudio comienza con la *Caracterización de los Servicios Ecosistémicos del páramo Sabana Rubia*, con la cual se identificaron tres aspectos cruciales a través del análisis de las respuestas obtenidas de un panel de expertos:

**Revisión Bibliográfica de Fuentes Científicas y Documentales:** Durante la fase de revisión bibliográfica, se recopiló información clave proveniente de doce estudios altamente referenciados y accesados que se relacionan directamente con el ecosistema del Páramo Sabana Rubia. Entre los más relevantes se encuentran los trabajos de Rangel-Ch. y Arellano-P. (2019), quienes proporcionaron una caracterización detallada de la vegetación y biodiversidad del páramo en la Serranía de Perijá, incluyendo la flora endémica y las asociaciones vegetales del sector de Sabana Rubia. Estos

hallazgos son cruciales para la planificación de acciones de conservación y valoración económica ambiental, al establecer una línea base ecológica sólida.

Asimismo, estudios como el de Pinto-Zárate y Rangel-Ch. (2010) identificaron unidades sintaxonómicas esenciales que permiten cuantificar y cualificar el valor ecológico del páramo, resaltando su biodiversidad única y la importancia de su conservación.

Otros estudios, como el de Pulido-B. y Andrade-C. (2008), evidenciaron la presencia de especies endémicas en la Serranía de Perijá, como la mariposa *Forsterinaria*, subrayando el valor intrínseco del ecosistema y su relevancia para iniciativas de conservación y turismo ecológico. Además, investigaciones relacionadas con el clima y topoclima de la región, como el trabajo de Arellano-P. y García-M. (2007), contribuyeron a una comprensión más profunda de los patrones climáticos y su impacto en la biodiversidad local, siendo estos elementos cruciales para evaluar el potencial de sostenibilidad del ecosistema.

Esta información refuerza la importancia de implementar un esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA), tal como sugieren diversos autores, a fin de incentivar la conservación de este ecosistema estratégico.

**Participación de Actores Clave:** Durante el desarrollo del panel de expertos, se realizó un análisis detallado basado en un conjunto de preguntas temáticas formuladas a partir de la revisión bibliográfica, el contexto del páramo y las investigaciones previas. Se utilizaron preguntas abiertas que permitieron extraer información cualitativa valiosa sobre la percepción de los servicios ecosistémicos, las amenazas al páramo, y la experiencia de los expertos en acciones de conservación y manejo de ecosistemas similares.

Los participantes incluyeron profesionales de diversas áreas relacionadas con la gestión ambiental, conservación de ecosistemas, y servicios ambientales. Durante estas actividades se llevaron a cabo reuniones con actores importantes (figura 2):



**Figura 2.** Participación de Óscar Roncalli, líder en proyectos de resiembra de Frailejones

Entre los principales bienes y servicios ambientales identificados por los expertos, la conservación hídrica, la biodiversidad, y la regulación climática fueron las más

destacadas, con énfasis en el potencial del páramo para el turismo ecológico y la conservación cultural.

Estos hallazgos refuerzan la importancia del páramo Sabana Rubia en el contexto local y regional, al ser fuente de agua y biodiversidad no solo para el municipio de Manaure, sino también para áreas circundantes.

Por otro lado, los expertos señalaron que las principales amenazas al páramo incluyen la ganadería extensiva, la deforestación, la expansión agrícola, el turismo no regulado y los incendios forestales. Estos factores representan riesgos significativos para la provisión de bienes y servicios ambientales del páramo, lo que subraya la necesidad urgente de implementar acciones de conservación. Además, se hizo un llamado a abordar estas amenazas desde una perspectiva intersectorial, involucrando tanto a la comunidad local como a entidades gubernamentales y ONGs.

Fue notable la conciencia sobre las amenazas que enfrenta el páramo, particularmente por actividades humanas como la ganadería extensiva, la deforestación y la expansión agrícola. Los expertos también identificaron al turismo no regulado y a los incendios forestales como factores de riesgo, destacando la necesidad urgente de abordar estos desafíos para proteger los servicios ecosistémicos vitales del páramo y asegurar el bienestar de las comunidades cercanas. Se contó con equipo tecnológico para observación directa en área de estudio (figura 3):



Figura 3. Se recopiló información de geoposicionamiento global y aerofotografías con dron

Un punto de consenso fue el cambio observado en la disponibilidad de flora y fauna, indicativo de alteraciones ecológicas o climáticas en la región. La disminución en la diversidad y abundancia de especies nativas y los cambios en su distribución evidencian la presión sobre el ecosistema del páramo, resaltando la necesidad de medidas efectivas de conservación y restauración.

**Clasificación de Actores y su Implicación en el Esquema de PSA:** La clasificación de los actores involucrados en la gestión del Esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA) se realizó utilizando la metodología de Mendelow, que permite categorizar a los actores según su nivel de influencia, poder, e interés en el proyecto. A través de esta clasificación, se

identificaron distintos niveles de participación y responsabilidad para cada actor, facilitando así la planificación y asignación de recursos en la gestión del PSA para el páramo Sabana Rubia.

- Distribución de los Actores según Influencia y Poder

El análisis reveló que actores como la Gobernación del Cesar, CORPOCESAR, y la Alcaldía de Valledupar son fundamentales debido a su alto poder e influencia en la gestión de recursos ambientales. Estos actores están posicionados en la categoría de gestión de relaciones estrechas, lo que significa que deben ser monitoreados constantemente e involucrados activamente en todas las etapas del diseño e implementación del PSA. Su participación es clave para asegurar que el esquema sea viable, tanto en términos de políticas públicas como de sostenibilidad económica y ambiental.

Por otro lado, instituciones como la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) y la empresa YARA, aunque cuentan con un conocimiento valioso, se ubican en un rol más pasivo. Estas entidades requieren una gestión mínima o nula, ya que su impacto directo en la implementación del PSA es limitado (ver figura 4).

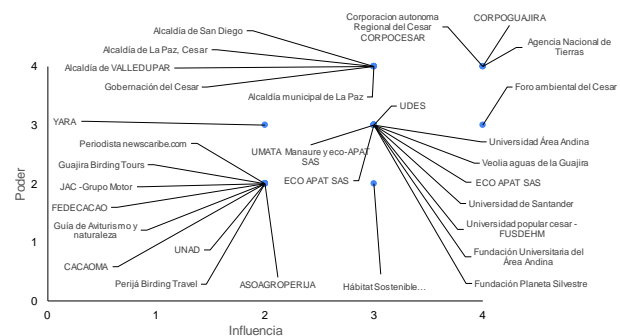


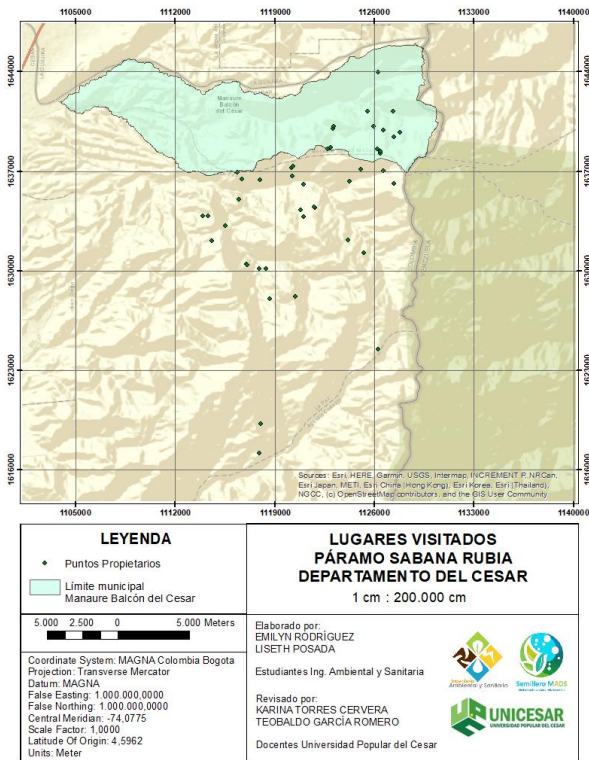
Figura 4. Relación de la Influencia versus Poder entre los actores

- Implicaciones para la Gestión del PSA

La clasificación de actores según el interés y el poder permite una gestión más eficiente de los recursos y las relaciones interinstitucionales. Por ejemplo, la CORPOCESAR y otras autoridades ambientales locales tienen una alta influencia y poder, por lo que es crucial establecer alianzas estratégicas con ellas para garantizar que los lineamientos del PSA se alineen con las políticas ambientales vigentes. Asimismo, actores del sector privado como FEDECACAO y empresas de turismo ecológico tienen un alto interés en el PSA, lo que sugiere que podrían ser aliados clave para desarrollar esquemas de incentivos económicos que promuevan prácticas sostenibles en el uso del suelo y la biodiversidad del páramo.

En cuanto a los actores con menor influencia, como algunos medios de comunicación y guías de turismo, su participación será relevante en términos de divulgación y sensibilización de la comunidad. Estos actores desempeñan un papel esencial para fortalecer el apoyo social al esquema y garantizar que las comunidades locales comprendan los beneficios y objetivos del PSA.

**Visita de Reconocimiento y Zonificación del Páramo Sabana Rubia:** permitió recolectar datos valiosos sobre el estado de los recursos naturales, en particular los servicios de regulación hídrica. Para ello, se utilizaron diversas herramientas de medición, entre ellas GPS, dron, pluviómetro digital, multímetro, y conductímetro. Estas mediciones no solo ayudaron a evaluar la calidad del suelo en los alrededores de los nacimientos de agua, sino también a identificar áreas clave para la conservación y la implementación de un Esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA).



**Figura 5.** Lugares visitados en el área del páramo Sabana Rubia (algunos puntos fueron registrados en jurisdicción del municipio de San Diego y Agustín Codazzi (zona de alta montaña).

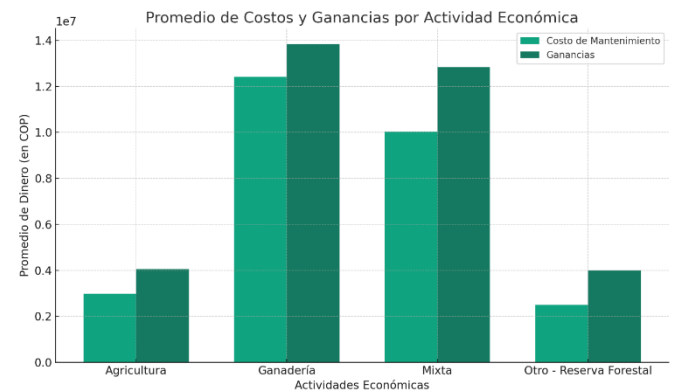
En esta visita, se tomaron datos geoespaciales que fueron posteriormente procesados y analizados utilizando el software ArcGIS (figura 5), lo que facilitó la creación de un mapa de zonificación. Las variables evaluadas incluyeron la disponibilidad de agua, la calidad del suelo, la densidad de la vegetación y los usos del suelo en las diferentes zonas del páramo, permitiendo una clasificación precisa de las áreas prioritarias para la conservación y aquellas con mayor potencial para intervenciones de manejo sostenible.

La integración de estos resultados en el modelo de PSA asegura que las decisiones de gestión estén respaldadas por un análisis espacial riguroso, optimizando la conservación de los servicios ecosistémicos del páramo.

En cuanto a la segunda etapa metodológica de *desarrollo para la propuesta de un esquema de pago por servicios ambientales* (PSA) para el páramo Sabana Rubia, emergen tres aspectos fundamentales basados en los resultados obtenidos y las figuras relevantes:

**Estimación del Valor del Incentivo y Viabilidad Económica:** El análisis detallado de los costos y beneficios asociados a la conservación del páramo Sabana Rubia permitió determinar el valor del incentivo para los propietarios que destinen sus tierras a la protección ambiental. Utilizando el formato de recolección de información, se identificó que la diferencia promedio entre el dinero recibido por la venta de productos agrícolas y el dinero destinado al mantenimiento y cuidado de las actividades económicas es de aproximadamente 1,407,738 pesos colombianos.

La figura 6, ilustra comparativamente la rentabilidad de distintas actividades, enfatizando la importancia de considerar cada actividad al diseñar el esquema de PSA.



**Figura 6.** Promedio de costos y ganancias por actividad económica del páramo Sabana Rubia

Para calcular el valor del incentivo, se consideró el Retorno de Inversión (ROI), que se estimó en 1.29, lo que significa que por cada peso invertido, los propietarios reciben 1.29 pesos en ingresos. Este valor se utilizó en conjunto con otros parámetros, como el tamaño del predio destinado a conservación (tPP), el total de hectáreas del predio (tP) y el valor promedio de la renta del suelo (\$R). El valor de renta del suelo por hectárea, calculado en función de los datos disponibles, tuvo un promedio de 14,437,037 pesos por hectárea, con una desviación estándar significativa, lo que indica una alta variabilidad en los valores de los predios.

Se obtuvo un valor promedio por hectárea al año de 1,475,076.52 pesos, derivado de la siguiente fórmula:

$$\text{Valor Beneficio} = \frac{\text{ROI} \times \text{tPP} \times \$R}{\text{tP}} \times 12 \quad (3)$$

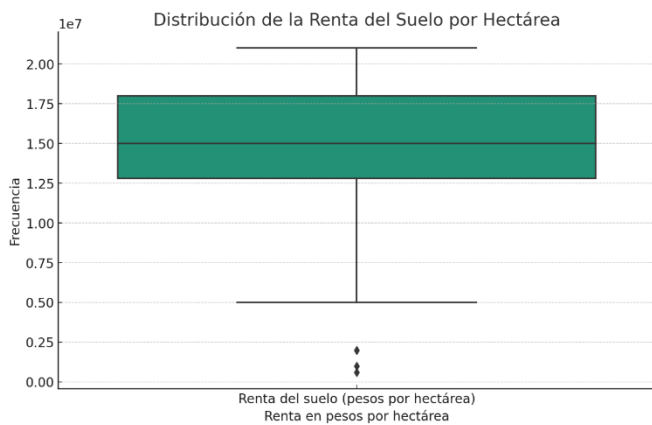
Donde:

- ROI es el Retorno de Inversión.
- tPP es el tamaño del área destinada a protección (en hectáreas).
- tP es el tamaño total del predio (en hectáreas).
- \$R es el valor de la renta del suelo por hectárea.
- El factor de 12 convierte el valor a un cálculo anual (meses por año).

Este valor representa una referencia clave para determinar el incentivo económico necesario para la protección de las

hectáreas destinadas a la conservación, tomando en cuenta el costo de oportunidad y la rentabilidad del uso del suelo. De acuerdo con los cálculos realizados, el valor del costo-efectividad (CE), que representa el incentivo por hectárea/año para cada predio, varía según el tamaño de la tierra destinada a la conservación. En promedio, el valor de incentivo por hectárea al año es de 24,960.28 pesos, con un rango que va desde 26,132.56 pesos hasta un máximo de 365,855.84 pesos por hectárea al año, dependiendo de las características específicas de cada predio.

**Distribución de la Renta del Suelo por Hectárea:** La figura 7 ofrece una representación visual detallada de la variabilidad en la renta del suelo por hectárea dentro del área de estudio del páramo Sabana Rubia. Esta variabilidad es de suma importancia para la concepción de un esquema de pago por servicios ambientales (PSA) que sea equitativo y eficaz. Al examinar la figura, se observa claramente que hay una amplia gama de valores de renta del suelo, lo que sugiere que algunos predios pueden generar ingresos significativos mientras que otros enfrentan dificultades para cubrir los costos asociados con la conservación y mantenimiento de las actividades económicas.



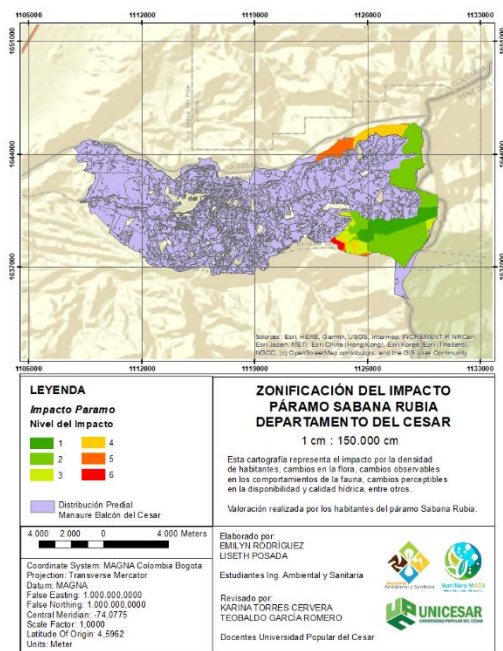
**Figura 7.** Distribución de la Renta del Suelo por Hectárea del páramo Sabana Rubia

Esta disparidad subraya la necesidad imperiosa de adaptar los incentivos del PSA a las condiciones específicas de cada predio, asegurando así que el esquema sea justo y atractivo para todos los participantes. Es crucial reconocer y abordar estas disparidades para garantizar que el esquema de PSA sea inclusivo y efectivo en la protección de los servicios ecosistémicos del páramo Sabana Rubia.

**Cadena de Valor y Zonificación por Acciones Estratégicas del PSA:** La figura 6 enfatiza la zonificación detallada como clave para un manejo efectivo del páramo. Clasificar áreas según su necesidad de conservación o restauración permite asignar recursos de manera eficiente, optimizando la efectividad del esquema de PSA.

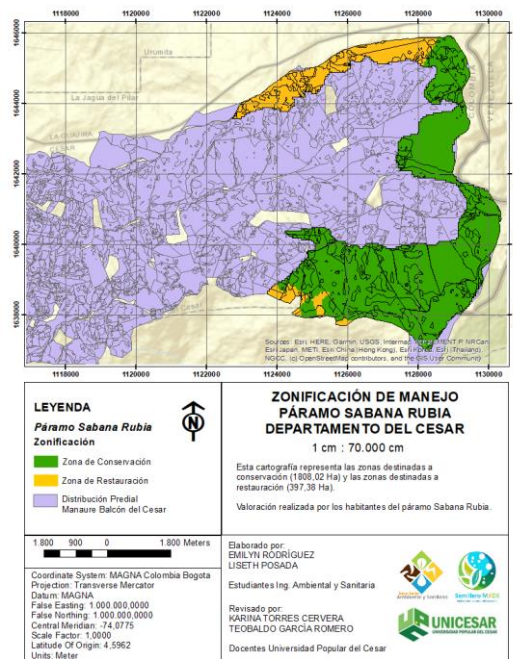
Para esto se identificaron los insumos, actividades y productos que generan valor a través de un enfoque metodológico de seis fases. Estas fases corresponden a los niveles de impacto ambiental detectados en el páramo (ver Figura 8), con una asignación diferencial de áreas para conservación (≈74.54%) y restauración (≈25.46%), estimadas con el método de análisis

multicriterio empleado en ArcGIS, el resultado de esto se aprecia en la Figura 9



**Figura 8.** Zonificación de las Medidas de Manejo del Páramo Sabana Rubia

Asimismo, se priorizó la intervención en zonas con mayores impactos, destinando recursos significativos a su restauración, mientras que las áreas con menor impacto se enfocaron en actividades de conservación.



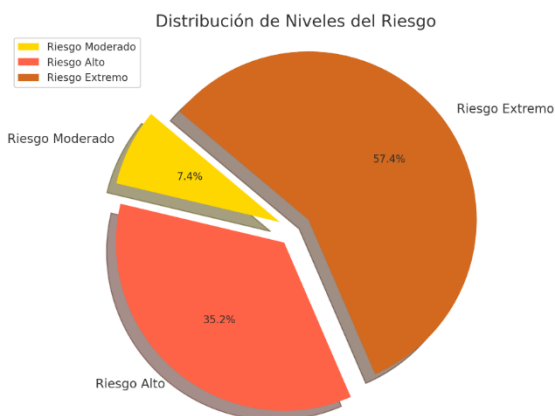
**Figura 9.** Zonificación de las Medidas de Manejo del Páramo Sabana Rubia Para cada fase de intervención, se definieron los insumos necesarios, como mano de obra calificada (ingenieros, biólogos, técnicos especializados), materiales (herramientas de geolocalización, software), y equipos (drones, estaciones de monitoreo), que son esenciales para implementar las actividades de monitoreo, reforestación, control de especies invasoras, y educación ambiental. Las actividades realizadas

incluyen la instalación de estaciones de monitoreo en puntos estratégicos, la reforestación de áreas degradadas, y la capacitación de la comunidad local en prácticas sostenibles.

El análisis de costos por hectárea reveló una inversión de \$4.483.625 por hectárea para conservación y \$2.562.030 por hectárea para restauración, destacando la necesidad de realizar ejecuciones parciales o priorizar áreas de intervención. Los productos generados a partir de estas actividades incluyen informes trimestrales de monitoreo ecosistémico, áreas reforestadas, sistemas de almacenamiento de agua implementados, y comunidades locales capacitadas para mantener las medidas de conservación y restauración.

**Análisis de los Riesgos:** El análisis de riesgos es un componente esencial para la implementación del esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA) en el páramo Sabana Rubia. Para ello, se identificaron cuatro tipos de riesgos: de mercado, operacionales, legales y administrativos, que afectan tanto las actividades de conservación como de restauración. Estos riesgos fueron evaluados siguiendo la metodología de la Norma Técnica Colombiana NTC 5254 de 2004 para la Gestión del Riesgo, evaluando la probabilidad de ocurrencia y la magnitud del impacto.

El resultado de la valoración de los riesgos se aprecia en la siguiente Figura 10:



**Figura 10.** Zonificación de las Medidas de Manejo del Páramo Sabana Rubia

En las actividades de conservación, algunos de los principales riesgos de mercado incluyen la falta de disponibilidad de equipos en el mercado o precios inflados, lo que podría obstaculizar la adquisición de estaciones de monitoreo y otros insumos esenciales. En cuanto a los riesgos operacionales, se identificaron posibles fallos en la selección de puntos estratégicos para las estaciones de monitoreo o condiciones climáticas adversas que impidan el acceso a zonas específicas.

En el ámbito legal, se mencionaron restricciones para el acceso a ciertas áreas protegidas o el incumplimiento de normativas de privacidad y protección de datos. En el aspecto administrativo, uno de los riesgos más relevantes es la falta de personal capacitado para llevar a cabo las actividades planificadas, así como la falta de coordinación y liderazgo en el equipo encargado.

Para las actividades de restauración, se identificaron riesgos de mercado como la escasez de terrenos adecuados para la reforestación y la falta de proveedores de imágenes satelitales de calidad para evaluar las áreas degradadas. En el plano operacional, los riesgos incluyen condiciones climáticas que afecten las jornadas de reforestación o un monitoreo deficiente de las plantas reforestadas, lo que puede comprometer su supervivencia.

Legalmente, se resaltaron restricciones en el uso de métodos de erradicación de especies invasoras, así como problemas con la titularidad del suelo.

Administrativamente, se destacó la falta de expertos en técnicas específicas y la necesidad de una mayor coordinación en la organización de las actividades y la capacitación del personal.

Por último, en la fase metodológica de *Determinación de la Disposición de Pago respecto a la existencia de servicios ecosistémicos*, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Diseño e Implementación de la Encuesta:** La encuesta fue diseñada siguiendo los principios del método de Valoración Contingente, con el fin de capturar la disposición a pagar (DAP) de los habitantes de los municipios beneficiarios del ecosistema del Páramo Sabana Rubia. La encuesta estuvo estructurada en varias secciones clave: información demográfica, percepción ambiental, conocimiento sobre el páramo y sus servicios ecosistémicos, así como preguntas específicas para determinar el monto de la DAP. El cuestionario fue validado previamente en un grupo piloto de 50 personas para ajustar su claridad y comprensión.

Se estableció un muestreo aleatorio simple basado en la población total de los municipios de Manaure Balcón del Cesar, Robles La Paz, San José de Oriente, San Diego y Agustín Codazzi, que en conjunto suman 102,632 habitantes. Según los cálculos de la fórmula de muestreo para poblaciones finitas y con un nivel de confianza del 95%, se proyectó una muestra de 2,188 encuestas. Sin embargo, debido a dificultades logísticas y a la reticencia de algunas personas a participar, se logró realizar la aplicación de 800 encuestas, lo cual representa el 36,56% de la muestra proyectada (Tabla 1).

El análisis de la muestra aplicada reveló que los encuestados estaban distribuidos en diversas categorías socioeconómicas y demográficas, lo que permitió obtener una visión representativa de las actitudes hacia la conservación del páramo. La distribución de los encuestados fue la siguiente:

- **Género:** El 52% de los encuestados eran hombres y el 48% mujeres.

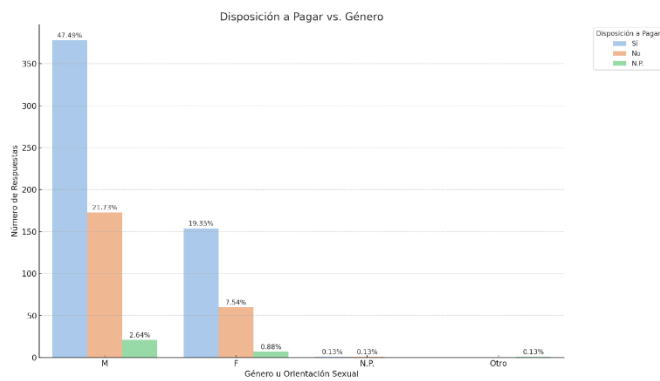


Figura 11. Disposición a pagar versus Género de los encuestados

- **Edad:** El 30% de los encuestados tenían entre 18 y 24 años, el 35% entre 25 y 38 años, el 20% entre 39 y 55 años, y el 15% más de 55 años.

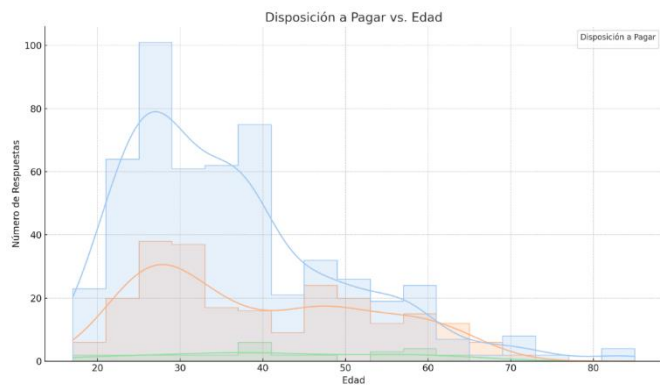


Figura 12. Disposición a pagar versus Edad de los encuestados

- **Nivel educativo:** El 25% de los encuestados tenía educación primaria, el 40% educación secundaria, el 20% formación técnica o tecnológica, y el 15% educación universitaria o superior.

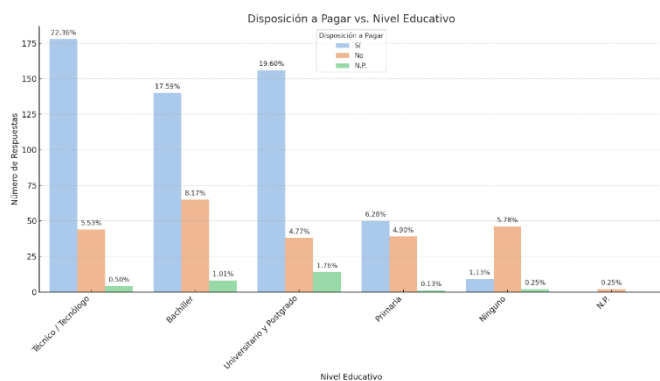


Figura 13. Disposición a pagar versus el Nivel Educativo de los encuestados

- **Ingreso promedio mensual:** El 35% de los encuestados reportó ingresos inferiores a un salario mínimo mensual legal vigente (SMLV), mientras que el 50% tenía ingresos entre uno y dos SMLV, y el 15% reportó ingresos superiores a dos SMLV.

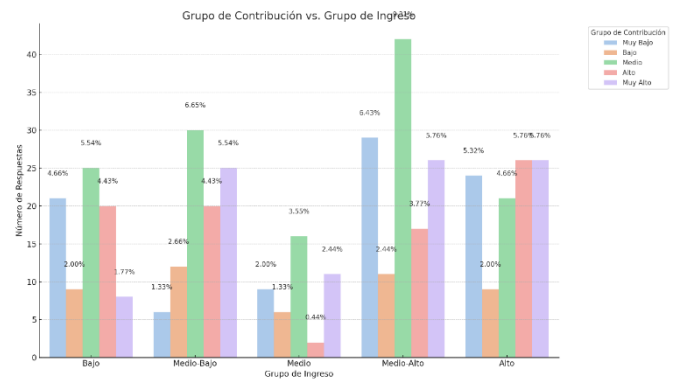


Figura 14. Relación de la Contribución versus los Grupos de Ingresos

Durante la aplicación de las encuestas se encontraron barreras importantes, como la desconfianza de los encuestados, quienes asociaban el ejercicio con iniciativas políticas o de recolección de impuestos. Además, el alto grado de movilidad de los habitantes, que en su mayoría se dedican a trabajos temporales en áreas rurales y urbanas cercanas, afectó la tasa de respuesta. A pesar de esto, se logró depurar y limpiar los datos obtenidos, eliminando respuestas incompletas o inconsistentes, resultando en un total de 796 encuestas válidas para el análisis econométrico.

**Construcción del Modelo Econométrico:** El análisis econométrico se basó en la técnica de regresión logística para modelar la disposición a pagar (DAP) en función de diversas variables socioeconómicas y de percepción ambiental. La variable dependiente fue la DAP binaria (Sí/No), donde un valor de 1 indicaba disposición a pagar, y 0 indicaba lo contrario. Las variables independientes incluyeron el género, la edad, el nivel educativo, la ocupación, el nivel de ingreso, la valoración de los servicios ecosistémicos del páramo y el conocimiento de los beneficios hídricos derivados del páramo.

El modelo inicial incluyó todas las variables mencionadas, pero tras varias iteraciones y ajustes, se seleccionaron las siguientes como las más significativas para predecir la DAP:

- **Género:** Las mujeres mostraron una mayor disposición a pagar, con un coeficiente de 0.3728, lo que significa que las mujeres tienen aproximadamente un 45% más de probabilidad de estar dispuestas a pagar en comparación con los hombres.
- **Nivel educativo:** A medida que el nivel educativo aumentaba, también lo hacía la probabilidad de estar dispuestos a pagar. El coeficiente fue de 0.3812, lo que implica que por cada nivel adicional de educación (de primaria a secundaria, de secundaria a técnica, etc.), la disposición a pagar aumentaba en un 46%.
- **Ocupación:** Las personas empleadas y los empresarios mostraron mayor disposición a pagar en comparación con los estudiantes y desempleados, con un coeficiente de 0.1069, que indica un aumento del 11% en las probabilidades de DAP para aquellos con una ocupación formal.



- **Valoración de los servicios ecosistémicos:** Aquellos que consideraban muy importantes los servicios ecosistémicos del páramo tenían un coeficiente de 0.4558, lo que implica que valorarlos más estaba asociado con un aumento del 58% en la probabilidad de estar dispuestos a pagar.
- **Conocimiento del beneficio hídrico:** Aquellos que eran conscientes de los beneficios que el páramo provee al acueducto tenían un coeficiente de 0.9844, lo que incrementaba las probabilidades de estar dispuestos a pagar en un 168%.

El modelo econométrico tuvo un pseudo R2 de 0.1754, lo cual es un valor aceptable para un modelo de regresión logística en estudios de valoración económica. La tasa de clasificación correcta del modelo fue del 75%, lo que indica que el modelo logró predecir correctamente la disposición a pagar en tres cuartas partes de los casos. La siguiente figura presenta el resultado del modelo obtenido con el software STATA:

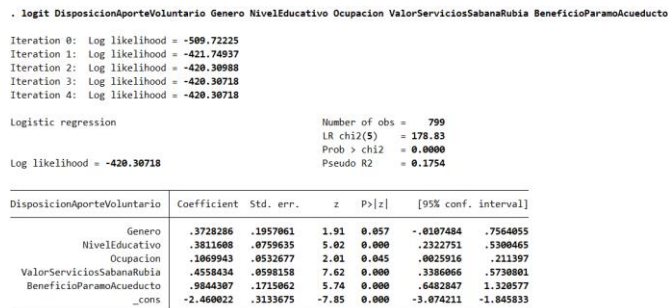


Figura 15. Resultado Regresión Logística de las variables significativas

El modelo construido a través de esta regresión es la siguiente:

$$Li = \ln\left(\frac{pi}{1 - pi}\right) = -\beta_0 + \beta_1 * Genero + \beta_2 * NivelEducativo + \beta_3 * Ocupacion + \beta_4 * ValorServiciosEcosistemicos + \beta_5 * BeneficioPáramo \tag{4}$$

**Cálculo de la Disposición de Pago:** El cálculo de la DAP promedio se realizó a partir de los resultados obtenidos en la encuesta y las probabilidades estimadas por el modelo econométrico. Los encuestados que manifestaron estar dispuestos a pagar fueron 511, lo que representa un 64,2% del total de encuestados, como se aprecia en la Figura 16.

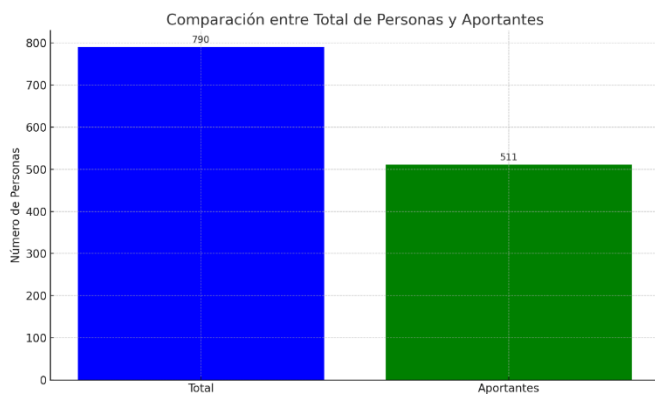


Figura 16. Número de aportantes respecto al total de la muestra evaluada

A partir de los datos de estos encuestados, se calculó que el aporte voluntario promedio era de COP\$ 550 mensuales, con una mediana de COP\$ 500.

Se estimó que, en un escenario de máximo recaudo mensual (100% de los encuestados dispuestos a pagar), el total mensual de contribuciones sería de COP\$ 51.316.000, lo que equivale a un recaudo anual de COP\$ 615.792.000. Sin embargo, al considerar la cobertura de acueducto en los municipios beneficiarios, que promedió un 75%, el recaudo potencial ajustado se redujo a aproximadamente COP\$ 462.000.000 anuales.

En un horizonte de 12 años de aportes voluntarios, se proyectó que el total recaudado sería de COP\$ 3.377.592.000, lo cual representaría apenas el 13,65% del costo total del esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA), que asciende a COP\$ 25.255.619.649,44. Este resultado sugiere que, aunque la DAP es un mecanismo viable, su efectividad financiera sería limitada a largo plazo, y se requerirían otras fuentes complementarias de financiamiento para cubrir la totalidad de los costos de conservación y restauración del páramo.

Un análisis de sensibilidad realizado con diferentes escenarios de aportes voluntarios y tiempos de recaudo sugirió que para financiar al menos una quinta parte del PSA, sería necesario aumentar la DAP a COP\$ 1.400 por persona y extender el periodo de recaudo a más de 50 años, lo que plantea desafíos significativos en términos de sostenibilidad financiera del proyecto.

Para la actividad 3.4, se debe incluir lo siguiente:

El Páramo Sabana Rubia, debido a su importancia ecológica y socioeconómica, requiere múltiples fuentes de financiación para implementar eficazmente los esquemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA). Si bien los aportes voluntarios de los habitantes de los municipios beneficiarios representan un mecanismo relevante, es necesario identificar otras fuentes complementarias de financiamiento para asegurar la sostenibilidad del proyecto a largo plazo.

Las principales fuentes de financiación identificadas incluyen el Sistema General de Regalías, el Impuesto Nacional al Carbono, la Tasa por Utilización de Aguas, la Tasa Compensatoria por Caza de Fauna Silvestre, la Tasa Compensatoria por Aprovechamiento Forestal Maderable, las Transferencias del Sector Eléctrico, el Porcentaje Ambiental de los Gravámenes a la Propiedad Inmueble, el 1% de los ingresos corrientes de los municipios y departamentos, la Inversión Forzosa del 1% en el marco del Licenciamiento Ambiental y las Compensaciones del Componente Biótico. Estas fuentes están reguladas por una serie de normativas que aseguran su aplicación a proyectos de conservación y restauración ambiental en Colombia. El Sistema General de Regalías, establecido por la Ley 1530 de 2012, destina el 1% de los ingresos provenientes de regalías para la conservación de áreas estratégicas como los páramos, mientras que el Impuesto Nacional al Carbono, regulado por la Ley 1819 de 2016, asigna el 25% de sus ingresos a la reducción de la deforestación y la conservación de fuentes hídricas,

## 5. CONCLUSIONES

incluyendo los ecosistemas de páramos. La Tasa por Utilización de Aguas, regulada por la Ley 99 de 1993, es una fuente importante para la protección y recuperación del recurso hídrico, además de destinarse a la preservación y restauración de páramos, según lo establece la Ley 1930 de 2018. Otras tasas como la compensatoria por caza de fauna silvestre y la tasa por aprovechamiento forestal maderable también se destinan a la protección y renovación de los recursos naturales, siendo administradas por las autoridades ambientales competentes. Las Transferencias del Sector Eléctrico, reguladas por la Ley 99 de 1993, permiten destinar recursos a la restauración del medio ambiente afectado, incluyendo la preservación de páramos. Adicionalmente, el 1% de los ingresos corrientes de los municipios y departamentos, según el artículo 111 de la Ley 99 de 1993, puede ser destinado a la adquisición y mantenimiento de zonas que surten de agua a los acueductos, lo que hace de esta una fuente clave para financiar esquemas de PSA. La Inversión Forzosa del 1% en el marco del Licenciamiento Ambiental, regulada por el parágrafo 1 de los artículos 43 y 11 de la Ley 99 de 1993, contribuye a la protección y recuperación del recurso hídrico. Finalmente, las compensaciones del componente biótico, establecidas por la Resolución 1526 de 2012, representan un mecanismo adicional para financiar la conservación de ecosistemas estratégicos como los páramos.

Estas fuentes de financiación, si bien son viables y legales, presentan retos en su implementación en zonas remotas y de difícil acceso como el Páramo Sabana Rubia. El acceso limitado y los problemas de seguridad en estas áreas pueden complicar las acciones de monitoreo y verificación, afectando la eficiencia en el uso de los recursos. Además, las características geográficas y la proximidad a la frontera con Venezuela plantean desafíos adicionales, como la migración y la cooperación transfronteriza. Los instrumentos como el Impuesto Nacional al Carbono y las Transferencias del Sector Eléctrico, basados en el principio de que "quien contamina, paga", son fundamentales para generar ingresos, pero su eficacia depende de la capacidad de las entidades gestoras para dirigir adecuadamente los recursos hacia áreas prioritarias. Por otro lado, las tasas por utilización de aguas y las compensatorias por caza o aprovechamiento forestal pueden enfrentar problemas de recolección y monitoreo en estas zonas, lo que dificulta su implementación efectiva.

Es fundamental que la implementación de estos instrumentos financieros sea sensible a las realidades socioeconómicas de las comunidades locales. Medidas que se perciban como restrictivas o costosas pueden generar resistencia local, comprometiendo la efectividad de los esquemas de PSA. Por lo tanto, es crucial combinar las fuentes de financiación existentes con los aportes voluntarios de la comunidad y asegurar una gestión transparente y eficiente de los recursos. Esta combinación de mecanismos financieros puede aumentar significativamente las posibilidades de éxito del proyecto de conservación del Páramo Sabana Rubia.

El estudio sobre la Caracterización de los Servicios Ecosistémicos del Páramo Sabana Rubia y la implementación de un esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA) proporciona un marco integral y detallado que resalta tanto la relevancia ecológica como la necesidad de gestionar de manera sostenible este ecosistema. El páramo, ubicado en una región estratégica de Colombia, contribuye de manera significativa a la regulación hídrica, la biodiversidad, y la mitigación del cambio climático, servicios esenciales para las comunidades locales y la región. A través de este estudio, se identificaron tres servicios ecosistémicos clave: la conservación hídrica, la regulación climática y el potencial de biodiversidad, siendo estos valorados en gran medida por los habitantes de la zona, quienes manifestaron un alto nivel de conciencia sobre la importancia del páramo para su bienestar socioeconómico.

Los resultados obtenidos mediante encuestas aplicadas a 796 personas de los municipios circundantes a Sabana Rubia muestran que el 64,2% de los encuestados están dispuestos a realizar aportes voluntarios para la conservación del páramo, con un promedio de disposición a pagar (DAP) de COP \$550 mensuales. Sin embargo, pese a este alto nivel de aceptación, la suma total recaudada en un escenario de máximo recaudo cubriría apenas el 13,65% del costo total estimado de las actividades de conservación y restauración, que asciende a COP \$25.255.619.649,44 en un horizonte de 12 años. Este resultado sugiere que, aunque el mecanismo de PSA es viable desde el punto de vista social, es financieramente insuficiente para garantizar la protección a largo plazo del ecosistema, lo que hace indispensable la búsqueda de fuentes de financiación complementarias.

La zonificación y análisis espacial realizados con el uso de tecnologías como ArcGIS, permitieron clasificar el 74,54% del área del páramo como prioritaria para la conservación y el 25,46% restante como sujeta a restauración, según los criterios de impactos ambientales y uso del suelo. Este análisis muestra que las áreas más afectadas por la intervención humana, principalmente por la ganadería extensiva y la deforestación, requieren una inversión significativa en restauración ecológica para revertir los efectos negativos sobre la biodiversidad y los recursos hídricos. Los estudios realizados en campo, utilizando drones y estaciones de monitoreo, también indicaron una disminución preocupante en la diversidad de flora y fauna, lo que refuerza la necesidad urgente de implementar medidas de mitigación.

El análisis econométrico, basado en la técnica de regresión logística, mostró que factores como el nivel educativo y el conocimiento sobre los beneficios hídricos del páramo incrementan significativamente la probabilidad de que los habitantes estén dispuestos a pagar por su conservación. Por cada nivel adicional de educación, la disposición a pagar aumentó en un 46%, mientras que aquellos que comprendían la relación entre el páramo y el abastecimiento de agua mostraron un aumento del 168% en su DAP.

Estos resultados demuestran la importancia de la educación ambiental como una herramienta clave para fomentar la participación comunitaria en proyectos de conservación y fortalecer la aceptación del esquema de PSA.

En cuanto a las fuentes de financiación adicionales, el Sistema General de Regalías, que asigna el 1% de sus recursos a la conservación de áreas estratégicas como los páramos, se presenta como una opción viable, pero enfrenta desafíos logísticos y administrativos, especialmente en zonas de difícil acceso como Sabana Rubia. Además, el Impuesto Nacional al Carbono, que destina el 25% de sus ingresos a la reducción de la deforestación y la conservación de fuentes hídricas, ofrece una fuente significativa de recursos, aunque su aplicación efectiva dependerá de la capacidad de las entidades gestoras para asegurar la transparencia y el monitoreo adecuado de los fondos. Se estima que, combinando estos dos mecanismos con los aportes voluntarios de la comunidad, se podría cubrir hasta un 35% del costo total del esquema de PSA, lo que aún deja una brecha financiera considerable.

El análisis de riesgos realizado como parte de este estudio identificó cuatro tipos principales de riesgos: de mercado, operacionales, legales y administrativos. Los riesgos operacionales, como el acceso limitado a zonas remotas del páramo y las condiciones climáticas adversas, se destacan como los más críticos, ya que pueden afectar la eficacia de las actividades de conservación y restauración. En el ámbito legal, la falta de claridad sobre la propiedad de la tierra y las restricciones en áreas protegidas presentan obstáculos significativos que deben ser abordados para garantizar la implementación exitosa del PSA.

En términos de viabilidad económica, el valor del incentivo necesario para asegurar la participación de los propietarios de tierras en el esquema de PSA se estimó en un promedio de COP \$1.475.076,52 por hectárea al año, con una amplia variabilidad dependiendo de las características del suelo y la rentabilidad de las actividades económicas en la región. Esta disparidad en la renta del suelo subraya la necesidad de diseñar un esquema de PSA flexible que se adapte a las condiciones específicas de cada predio, asegurando así su equidad y efectividad.

En conclusión, los resultados de este estudio proporcionan una base sólida para la implementación de un esquema de Pago por Servicios Ambientales en el Páramo Sabana Rubia, pero también destacan los importantes desafíos financieros, logísticos y administrativos que deben ser superados. La combinación de aportes voluntarios de la comunidad con fuentes de financiación públicas como el Sistema General de Regalías y el Impuesto Nacional al Carbono es crucial para garantizar la sostenibilidad del proyecto. Además, es fundamental promover la educación ambiental y la participación comunitaria como elementos clave para aumentar la disposición a pagar y asegurar el éxito del esquema de PSA a largo plazo. La ausencia de medidas de conservación efectivas podría tener consecuencias devastadoras para la biodiversidad, los recursos hídricos y el clima regional, afectando no solo a las comunidades locales,

sino también a la estabilidad ecológica de la región en su conjunto.

## REFERENCIAS

Alvarado R., J., Bonilla, D., Currea V., A., & Oidor, J. (2020). Un Esquema de Pago por Servicios Ambientales como alternativa de Gestión del Recurso Hídrico en el Área de Páramo de la Vereda Romeral (Soacha). Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

ANUE. (2021). La destrucción de los ecosistemas, un problema en auge. Recuperado el 11 de octubre de 2023, de <https://anue.org/wp-content/uploads/2021/09/La-destruccion-de-los-ecosistemas-un-problema-en-auge.-Articulo-completo.pdf>.

Arias, J. (s.f.). Bienes y Servicios Ambientales (BySA). Recuperado el 14 de Julio de 2022, de Centro de Gestión Ambiental de la Universidad Tecnológica de Pereira: <http://media.utp.edu.co/centro-gestion-ambiental/archivos/bienes-y-servicios-ambientales/bienesyserviciosambientales-bysa-efectos.pdf>

Banco Mundial (s.f.). Género. Recuperado el 11 de octubre de 2023, de <https://www.bancomundial.org/es/topic/gender/overview>

Belli, L. F. (2019). La importancia de la perspectiva de género en salud. Ecofeminita. Recuperado el 11 de octubre de 2023, de <https://ecofeminita.com/la-importancia-de-la-perspectiva-de-genero-en-salud/>

CEPAL. (s.f.). Acerca de Desarrollo Sostenible. Recuperado el 14 de Julio de 2022, de Comisión Económica para América Latina y el Caribe de las Naciones Unidas: <https://www.cepal.org/es/temas/desarrollo-sostenible/acerca-desarrollo-sostenible>

Colorado, M. (10 de Septiembre de 2020). Los páramos de Colombia, en peligro por la minería a gran escala. Obtenido de Página Oficial France24 sección Medio Ambiente: <https://www.france24.com/es/medio-ambiente/20200910-medio-ambiente-colombia-paramos-agua-mineria>

Comisión para la Igualdad de Oportunidades en el Empleo (EEOC). (s.f.). Igualdad en las Remuneraciones/Discriminación en la Remuneración. Recuperado el 11 de octubre de 2023, de <https://www.eeoc.gov/es/igualdad-en-las-remuneracionesdiscriminacion-en-la-remuneracion>.

DAFP. (s.f.). Gestor Normativo del Departamento Administrativo de Función Pública. Recuperado el 14 de Julio de 2022, de Departamento Administrativo de Función Pública: <https://www.funcionpublica.gov.co/web/eva/gestor-normativo>

- Del Saz Salazar, S., & García M., L. (2002). Disposición a Pagar versus Disposición a ser Compensado por mejoras medioambientales: evidencia empírica. IX Ecuentero de Economía Pública, 1-15.
- DNP. (2021). Guía técnica para el diseño e implementación del Proyecto Tipo de PSA para la modalidad hídrica. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/11/Guia-Tecnica-para-el-diseño-e-implementación-del-Proyecto-Tipo-de-PSA-para-modalidad-hídrica-2021.pdf>
- DNP. (s.f.). Documentos CONPES. Recuperado el 14 de Julio de 2022, de Departamento Nacional de Planeación: <https://www.dnp.gov.co/CONPES/documentos-conpes>
- Ecosistemas.net. (s.f.). Destrucción de los ecosistemas. Recuperado el 11 de octubre de 2023, de <https://ecosistemas.net/destrucción-de-los-ecosistemas>.
- Fajardo, E., Beleño, L., & Romero, H. (2021). Incidencia de los factores socioeconómicos en la calidad de la educación media regional en Colombia. Recuperado el 11 de octubre de 2023, de <https://www.redalyc.org/journal/339/33966543005/html/>.
- FAO. (s.f.). Servicios ecosistémicos y biodiversidad. Recuperado el 07 de Julio de 2022, de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <https://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>
- Fontalvo Ramos, L. E. (2020). Justicia transicional sin transición: El caso de la vereda El Cinco, Balcones de Manaure, Cesar. *Oraloteca*, (110-120). Recuperado de <https://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/oraloteca/article/view/3807/2810>.
- Gobierno Municipal de Manaure. (2020). Plan de Desarrollo Municipal Territorial Manaure Balcón del Cesar 2020 - 2023 "Desarrollo Con Humildad". Manaure, Cesar, Colombia: Alcaldía de Manaure Balcón del Cesar. Obtenido de [https://manaurecesar.micolombiadigital.gov.co/sites/manaurecesar/content/files/000367/18313\\_acuerdo-no-02-del-1-de-junio-de-2020-pdt-manaure-desarrollo-con-humildad-sancion-2.pdf](https://manaurecesar.micolombiadigital.gov.co/sites/manaurecesar/content/files/000367/18313_acuerdo-no-02-del-1-de-junio-de-2020-pdt-manaure-desarrollo-con-humildad-sancion-2.pdf)
- Guimerà, A. (16 de Febrero de 2022). La matriz de Mendelow. Obtenido de Marketing Esencial: Modelos Aplicables al Marketing: <https://www.marketing-esencial.com/2022/02/16/la-matriz-de-mendelow/>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2020). Turismo rural: una oportunidad para fortalecer la agricultura ante la crisis ocasionada por el COVID-19. Recuperado de <https://blog.iica.int/blog/turismo-rural-una-oportunidad-para-fortalecer-agricultura-ante-crisis-ocasionada-por-covid-19>.
- Issa Castrillo, V. (2022). La inclusión laboral: ¿Qué es y por qué tiene que importarnos? Recuperado el 11 de octubre de 2023, de <https://blogs.iadb.org/trabajo/es/la-inclusion-laboral-que-es-y-por-que-tiene-que-importarnos/>.
- LaRepública. (03 de octubre de 2019). "En Colombia tenemos 50% de los páramos andinos del mundo", MiPáramo. Obtenido de Página Oficial de Editorial La República S.A.S.: <https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/en-colombia-tenemos-50-de-los-paramos-andinos-del-mundo-miparamo-2916816>
- LibreTexts Español (s.f.). 3.1: Factores que influyen en el comportamiento de compra de los consumidores. Recuperado el 11 de octubre de 2023, de [https://espanol.libretexts.org/Negocio/Mercadotecnia/Libro%3A\\_Principios\\_de\\_Mercadotecnia/03%3A\\_Comportamiento\\_del\\_consumidor/03.1%3A\\_Factores\\_que\\_influyen\\_en\\_el\\_comportamiento\\_de\\_compra\\_de\\_los\\_consumidores](https://espanol.libretexts.org/Negocio/Mercadotecnia/Libro%3A_Principios_de_Mercadotecnia/03%3A_Comportamiento_del_consumidor/03.1%3A_Factores_que_influyen_en_el_comportamiento_de_compra_de_los_consumidores).
- LibreTexts Español (s.f.). 7.4: Factores que influyen en las decisiones del consumidor. Recuperado el 11 de octubre de 2023, de [https://espanol.libretexts.org/Negocio/Mercadotecnia/Libro%3A\\_Principios\\_de\\_Mercadotecnia\\_%28Lumen%29/07%3A\\_Comportamiento\\_del\\_consumidor/7.04%3A\\_Factores\\_que\\_influyen\\_en\\_las\\_decisiones\\_del\\_consumidor](https://espanol.libretexts.org/Negocio/Mercadotecnia/Libro%3A_Principios_de_Mercadotecnia_%28Lumen%29/07%3A_Comportamiento_del_consumidor/7.04%3A_Factores_que_influyen_en_las_decisiones_del_consumidor).
- Lombana L., M. (2019). Diseño de un esquema de Pago por Servicios Ambientales en áreas de importancia estratégica para la conservación, en la microcuenca La Hidráulica del municipio de Sibundoy en Putumayo, Colombia. *Revista Universidad de Manizales*, 1-45. Obtenido de [https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/4745/Lombana\\_Luna\\_M%C3%B3nica\\_2019.pdf?sequence=1](https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/4745/Lombana_Luna_M%C3%B3nica_2019.pdf?sequence=1)
- MINAMBIENTE. (s.f.). Normativa de Pago por Servicios Ambientales. Recuperado el 14 de Julio de 2022, de Grupo de Análisis Económico para la Sostenibilidad del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: <https://www.minambiente.gov.co/negocios-verdes/normativa-de-psa/>
- MINAMBIENTE. (s.f.). Pago por Servicios Ambientales. Recuperado el 14 de Julio de 2022, de Grupo de Análisis Económico para la Sostenibilidad del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: <https://www.minambiente.gov.co/negocios-verdes/pagos-por-servicios-ambientales/>
- MINAMBIENTE. (s.f.). Programa Nacional de Pagos Por Servicios Ambientales. Recuperado el 14 de Julio de 2022, de Grupo de Análisis Económico para la Sostenibilidad del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: <https://www.minambiente.gov.co/negocios-verdes/programa-nacional-de-pagos-por-servicios-ambientales/>

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). *METODOLOGÍAS PARA LA VALORACIÓN ECONÓMICA DE BIENES AMBIENTALES*. Recuperado el 11 de octubre de 2023, de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Guias-valoracion-servicios-ecosistemicos-MADS.pdf>.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). Pagos por Servicios Ambientales. Recuperado el 11 de octubre de 2023, de <https://www.minambiente.gov.co/negocios-verdes/pagos-por-servicios-ambientales/>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2022). ¿Qué podemos hacer contra la degradación de los ecosistemas? Recuperado el 11 de octubre de 2023, de <https://www.fao.org/faostories/article/es/c/1473597/>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2021). Desigualdades socioeconómicas y aprendizaje. Recuperado el 11 de octubre de 2023, de <https://learningportal.iiep.unesco.org/es/fichas-praticas/mejorar-el-aprendizaje/desigualdades-socioeconomicas-y-aprendizaje>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2020). Informe de seguimiento de la educación en el mundo, 2020, América Latina y el Caribe: inclusión y educación: todos y todas sin excepción. Recuperado el 11 de octubre de 2023, de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374615>.
- Organización de las Naciones Unidas. (2021). Los beneficios de los recursos minerales deben llegar a todo el mundo. Recuperado el 11 de octubre de 2023, de <https://news.un.org/es/story/2021/05/1492432>.
- Ovalle Jácome, L. (02 de junio de 2021). Siembran 3.000 frailejones en el páramo de Sabana Rubia (Cesar). Obtenido de Página Oficial de EL TIEMPO Casa Editorial: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/siembra-de-500-mil-plantas-para-protoger-fuentes-hidricas-del-cesar-593062>
- Pedroza C., E., & Pérez C., Y. (2020). Estructuración de una Propuesta de Pago por Servicios Ambientales en el Páramo El Verjón, Bogotá – Colombia. Bogotá D.C.: Universidad Cooperativa de Colombia. Obtenido de [https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/20169/2/2020\\_Servicios\\_Ambientales\\_Verj%C3%B3n.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/20169/2/2020_Servicios_Ambientales_Verj%C3%B3n.pdf)
- Rangel-Ch, J. O. (2019). Servicios ecosistémicos ofrecidos por la Serranía de Perijá. Ecosystem services offered by the Perijá massif. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Jesus-Rangel-4/publication/339630383\\_SERVICIOS\\_ECOSISTEMICOS\\_OFRECIDOS\\_POR\\_LA\\_SERRANIA\\_DE\\_PERIJA\\_Ecosystem\\_services\\_offered\\_by\\_the\\_Perija\\_massif/links/5e5d7279299bf1bdb84caa77/SERVICIOS-ECOSISTEMICOS-OFRECIDOS-POR-LA-SERRANIA-DE-PERIJA-Ecosystem-services-offered-by-the-Perija-massif.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jesus-Rangel-4/publication/339630383_SERVICIOS_ECOSISTEMICOS_OFRECIDOS_POR_LA_SERRANIA_DE_PERIJA_Ecosystem_services_offered_by_the_Perija_massif/links/5e5d7279299bf1bdb84caa77/SERVICIOS-ECOSISTEMICOS-OFRECIDOS-POR-LA-SERRANIA-DE-PERIJA-Ecosystem-services-offered-by-the-Perija-massif.pdf)
- Rangel-Ch, J. O., & Arellano-P, H. (2019). La vegetación de la serranía de perijá, colombia: páramo, selvas y bosques. The vegetation of the Perijá massif, Colombia: paramo, jungles and forests. Instituto de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Jesus-Rangel-4/publication/339630237\\_LA\\_VEGETACION\\_DE\\_LA\\_SERRANIA\\_DE\\_PERIJA\\_COLOMBIA\\_PARAMO\\_SELVAS\\_Y\\_BOSQUES\\_The\\_vegetation\\_of\\_the\\_Perija\\_massif\\_Colombia\\_paramo\\_jungles\\_and\\_forests/links/5e5d6345299bf1bdb84ca6fb/LA-VEGETACION-DE-LA-SERRANIA-DE-PERIJA-COLOMBIA-PARAMO-SELVAS-Y-BOSQUES-The-vegetation-of-the-Perija-massif-Colombia-paramo-jungles-and-forests.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jesus-Rangel-4/publication/339630237_LA_VEGETACION_DE_LA_SERRANIA_DE_PERIJA_COLOMBIA_PARAMO_SELVAS_Y_BOSQUES_The_vegetation_of_the_Perija_massif_Colombia_paramo_jungles_and_forests/links/5e5d6345299bf1bdb84ca6fb/LA-VEGETACION-DE-LA-SERRANIA-DE-PERIJA-COLOMBIA-PARAMO-SELVAS-Y-BOSQUES-The-vegetation-of-the-Perija-massif-Colombia-paramo-jungles-and-forests.pdf)
- Rangel-Ch., J. O., Carvajal-Cogollo, J. E., & Rivera-Díaz, O. (2019). Amenazas a la biota (vegetación, fauna, flora, ecosistemas) de la Serranía de Perijá, Colombia. Threats to the biota (vegetation, wildlife, flora, ecosystems) of the Perijá massif, Colombia. 551-573. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Jesus-Rangel-4/publication/339630622\\_AMENAZAS\\_A\\_LA\\_BIOTA\\_VEGETACION\\_FAUNA\\_FLORA\\_ECOSISTEMAS\\_DE\\_LA\\_SERRANIA\\_DE\\_PERIJA\\_COLOMBIA\\_Threats\\_to\\_the\\_biota\\_vegetation\\_wildlife\\_flora\\_ecosystems\\_of\\_the\\_Perija\\_massif\\_Colombia/links/5e5d704992851cefa1d694b7/AMENAZAS-A-LA-BIOTA-VEGETACION-FAUNA-FLORA-ECOSISTEMAS-DE-LA-SERRANIA-DE-PERIJA-COLOMBIA-Threats-to-the-biota-vegetation-wildlife-flora-ecosystems-of-the-Perija-massif-Colombia.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jesus-Rangel-4/publication/339630622_AMENAZAS_A_LA_BIOTA_VEGETACION_FAUNA_FLORA_ECOSISTEMAS_DE_LA_SERRANIA_DE_PERIJA_COLOMBIA_Threats_to_the_biota_vegetation_wildlife_flora_ecosystems_of_the_Perija_massif_Colombia/links/5e5d704992851cefa1d694b7/AMENAZAS-A-LA-BIOTA-VEGETACION-FAUNA-FLORA-ECOSISTEMAS-DE-LA-SERRANIA-DE-PERIJA-COLOMBIA-Threats-to-the-biota-vegetation-wildlife-flora-ecosystems-of-the-Perija-massif-Colombia.pdf)
- Rangel-Ch., J. O., Jaramillo, A., & Niño, L. (2019). La serranía de Perijá: Un macizo de excepcional biodiversidad [Perijá: a massif of exceptional biodiversity]. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/profile/Jesus-Rangel-4/publication/339630466\\_LA\\_SERRANIA\\_DE\\_PERIJA\\_UN\\_MACIZO\\_DE\\_EXCEPCIONAL\\_BIODIVERSIDAD\\_Perija\\_a\\_massif\\_of\\_exceptional\\_biodiversity/links/5e5d72e3a6fddcbeba145110/LA-SERRANIA-DE-PERIJA-UN-MACIZO-DE-EXCEPCIONAL-BIODIVERSIDAD-Perija-a-massif-of-exceptional-biodiversity.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jesus-Rangel-4/publication/339630466_LA_SERRANIA_DE_PERIJA_UN_MACIZO_DE_EXCEPCIONAL_BIODIVERSIDAD_Perija_a_massif_of_exceptional_biodiversity/links/5e5d72e3a6fddcbeba145110/LA-SERRANIA-DE-PERIJA-UN-MACIZO-DE-EXCEPCIONAL-BIODIVERSIDAD-Perija-a-massif-of-exceptional-biodiversity.pdf)
- Ropero, S. (2020). Cuál es la importancia de los ecosistemas. Recuperado el 11 de octubre de 2023, de <https://www.ecologiaverde.com/cual-es-la-importancia-de-los-ecosistemas-3069.html>.
- Sánchez, J. (2019). Deterioro ambiental: definición, causas y consecuencias. Recuperado el 11 de octubre de 2023, de <https://www.ecologiaverde.com/deterioro-ambiental-definicion-causas-y-consecuencias-1393.html>.

SUPERSERVICIOS. (2022). Informe Nacional de Cobertura de los Servicios Públicos de Acueducto, Alcantarillado y Aseo periodo 2022. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio – MINVIVIENDA y de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios – SSPD. Recuperado de: [https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/informe\\_nacional\\_de\\_coberturas\\_de\\_los\\_servicios\\_publicos\\_aaa\\_2022](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/informe_nacional_de_coberturas_de_los_servicios_publicos_aaa_2022)

UNICESAR. (2021). Por Medio Del Cual Se Adoptan Las Líneas De Investigación De Los Programas De Pregrado De La Facultad De Ingeniería Y Tecnológicas Sede Valledupar, Y Se Dictan Otras Disposiciones. Valledupar, Colombia: Universidad Popular del Cesar.