



Universidad Nacional  
Abierta y a Distancia

**Sello Editorial**

# **GESTIÓN INTEGRADA DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MAGDALENA: INSTRUMENTOS PARA SU EVALUACIÓN Y PLANIFICACIÓN**

---

Grupo de investigación: Inyumacizo

# **GESTIÓN INTEGRADA DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MAGDALENA: INSTRUMENTOS PARA SU EVALUACIÓN Y PLANIFICACIÓN**

Autores:

Andrés Mauricio Munar Samboní  
Nelly María Méndez Pedroza  
Martha Cecilia Vinasco Guzmán  
Myrian Sofía Guzmán Oliveros  
Claudia Patricia Cortés Orozco  
Silvia Alejandra Trujillo Zapata  
Oscar Eduardo Valbuena Calderón  
Mauro Albeiro Bravo Gaviria  
Guillermo Edmundo Caicedo Díaz  
Juan Pablo Herrera Cerquera  
Gustavo Adolfo Ramírez Córdoba

William Ignacio Montealegre Torres  
Carlos Guillermo Mesa Mejía  
Paola Andrea Tenorio Sánchez  
Bilma Adela Florido Cuellar  
Luis Alexander Carvajal Pinilla  
Lina Paola Caicedo Bolaños  
Miguel Ángel Núñez Burgos  
Armando Enrique Fernández Chávez  
Vicente Fernández Hidalgo  
Johana Ximena Castro Trujillo  
Leidy Yurani Jiménez Cruz

## **UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA – UNAD**

Jaime Alberto Leal Afanador

**Rector**

Constanza Abadía García

**Vicerrectora académica y de investigación**

Leonardo Yunda Perlaza

**Vicerrector de medios y mediaciones pedagógicas**

Édgar Guillermo Rodríguez Díaz

**Vicerrector de servicios a aspirantes, estudiantes y egresados**

Julialba Ángel Osorio

**Vicerrectora de inclusión social para el desarrollo regional y la proyección comunitaria**

Leonardo Evemeleth Sánchez Torres

**Vicerrector de relaciones intersistémicas e internacionales**

Myriam Leonor Torres

**Decana Escuela de Ciencias de la Salud**

Clara Esperanza Pedraza Goyeneche

**Decana Escuela de Ciencias de la Educación**

Alba Luz Serrano Rubiano

**Decana Escuela de Ciencias Jurídicas y Políticas**

Martha Viviana Vargas Galindo

**Decana Escuela de Ciencias Sociales, Artes y Humanidades**

Claudio Camilo González Clavijo

**Decano Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería**

Jordano Salamanca Bastidas

**Decano Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente**

Sandra Rocío Mondragón

**Decana Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios**

## **Gestión integrada de la cuenca alta del río Magdalena: instrumentos para su evaluación y planificación**

### **Autores:**

Andrés Mauricio Munar Samboní  
Nelly María Méndez Pedroza  
Martha Cecilia Vinasco Guzmán  
Myrian Sofía Guzmán Oliveros  
Claudia Patricia Cortés Orozco  
Silvia Alejandra Trujillo Zapata  
Oscar Eduardo Valbuena Calderón  
Mauro Albeiro Bravo Gaviria  
Guillermo Edmundo Caicedo Díaz  
Juan Pablo Herrera Cerquera  
Gustavo Adolfo Ramírez Córdoba

William Ignacio Montealegre Torres  
Carlos Guillermo Mesa Mejía  
Paola Andrea Tenorio Sánchez  
Bilma Adela Florido Cuellar  
Luis Alexander Carvajal Pinilla  
Lina Paola Caicedo Bolaños  
Miguel Ángel Núñez Burgos  
Armando Enrique Fernández Chávez  
Vicente Fernández Hidalgo  
Johana Ximena Castro Trujillo  
Leidy Yurani Jiménez Cruz

**333.91  
M963**

Munar Samboní, Andrés Mauricio  
Gestión integrada de la cuenca alta del río Magdalena: instrumentos para su  
evaluación y planificación/ Andrés Mauricio Munar Samboní, Nelly María Méndez  
Pedroza, Martha Cecilia Vinasco Guzmán ... [et al.] -- [1.a. ed.]. Bogotá: Sello  
Editorial UNAD /2022. (Grupo de investigación: Inyumacizo).

ISBN: 978-958-651-863-5 e-ISBN: 978-958-651-864-2

1. Sistema de gestión integral 2. Recursos hídricos 3. Cuencas hidrográficas 4.  
Recursos naturales 5. Explotación de recursos I. Munar Samboní, Andrés Mauricio  
II. Méndez Pedroza, Nelly María III. Vinasco Guzmán, Martha Cecilia IV. Guzmán  
Oliveros, Myrian Sofía V. Cortes Orozco, Claudia Patricia VI. Trujillo Zapata, Silvia  
Alejandra VII. Valbuena Calderón, Oscar Eduardo VIII. Bravo Gaviria, Mauro Albeiro  
IX. Caicedo Díaz, Guillermo Edmundo X. Herrera Cerquera, Juan Pablo ... [et al.]

**Grupo de Investigación:** Inyumacizo

**ISBN: 978-958-651-863-5**

**e-ISBN: 978-958-651-864-2**

**Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA**

©Editorial

Sello Editorial UNAD

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Calle 14 sur N.º 14-23

Bogotá, D.C.

Noviembre de 2022

**Corrección de textos:** Johana Patricia Mariño Quimbayo

**Diagramación:** Angélica García

**Edición integral:** Hipertexto SAS

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons - Atribución – No comercial – Sin Derivar 4.0 internacional.

[https://co.creativecommons.org/?page\\_id=13](https://co.creativecommons.org/?page_id=13).



# CONTENIDO

Prólogo	9
<b>Capítulo 1</b>	
<b>Herramientas para la evaluación y gestión integrada del recurso hídrico</b>	<b>11</b>
1.1 Implementación del modelo hidrológico MGB para la gestión integral de recurso hídrico en la cuenca alta del río Magdalena	12
<b>Referencias</b>	30
1.2 Estudio comparativo de macroinvertebrados bentónicos utilizados como bioindicadores de calidad de agua en la cuenca alta del río Magdalena	35
<b>Referencias</b>	52
<b>Capítulo 2</b>	
<b>Estrategias de gestión y adaptación al cambio climático en la cuenca alta del río Magdalena</b>	<b>56</b>
2.1 Gestión de la biodiversidad en áreas protegidas de la cuenca alta del río Magdalena: caso de estudio: comadreja colombiana ( <i>Mustela felipei</i> )	57
<b>Referencias</b>	74
2.2 Caracterización florística y estructural de un bosque ripario como punto de referencia para la restauración ecológica en la desembocadura del río Las Ceibas, Neiva	77
<b>Referencias</b>	88

2.3 Relación del suelo y la <i>Guadua angustifolia Kunth</i> en la cuenca baja del río Guarapas de Pitalito-Huila	90
<b>Referencias</b>	102
2.4 Balance de nutrientes en los suelos asociados a la <i>Guadua angustifolia Kunth</i> en la cuenca hidrográfica del río Guarapas	107
<b>Referencias</b>	118
ANEXOS	121
2.5 Caracterización de avifauna y especies forestales como estrategia de gestión y conservación de biodiversidad: caso de estudio UNAD CEAD Ibagué	124
<b>Referencias</b>	135

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Cuenca alta del río Magdalena mostrando la red de drenaje, elevación y los embalses de El Quimbo y Betania.	17
<b>Figura 2.</b> Localización de estaciones sobre el cauce del río Magdalena, en el municipio de San Agustín (21017060 y 21017020).	19
<b>Figura 3.</b> Variación del caudal medio diario durante el periodo 1971 – 2015 para la Estación 21017050 PITALITO.	19
<b>Figura 4.</b> Variación del caudal medio diario durante el periodo 1971 – 2015 para la Estación 21017020.	20
<b>Figura 5.</b> a) Valores medios y b) valores máximos multianuales de precipitación en las estaciones Sevilla, Isfopal.	21
<b>Figura 6.</b> Subcuencas, estaciones de precipitación y caudal utilizadas para la calibración/validación del modelo hidrológico.	21
<b>Figura 7.</b> Clasificación correspondiente a) uso de suelo y b) tipo de suelo.	25
<b>Figura 8.</b> Hidrogramas y curvas de duración de caudales simulados y observados en las cuatro estaciones de medición de caudal.	28
<b>Figura 1.</b> Ubicación de las fuentes hídricas consultadas.	44
<b>Figura 1.</b> Localización del área de estudio en la parte alta de la cuenca del río Guarapas en inmediaciones del Parque Natural Municipal de Pitalito.	62
<b>Figura 2.</b> Ubicación de la localidad del nuevo registro de Mustela frenata en la región sur del departamento del Huila, Colombia.	70
<b>Figura 1.</b> Ubicación de las parcelas de muestreo en el bosque ripario de la cuenca del río Las Ceibas, Neiva, Huila.	82
<b>Figura 1.</b> Localización zonas de estudio en la cuenca baja del río Guarapas.	94
<b>Figura 1.</b> a) Localización de la cuenca hidrográfica del río Guarapas b) Georreferenciación de los puntos de muestreo de Guadua. Angustifolia Kunth en el municipio de Pitalito.	111
<b>Figura 1.</b> Área de estudio en el campus de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia CEAD Ibagué – Colombia.	129
<b>Figura 2.</b> a) Análisis de agrupamiento y b) Análisis de componentes principales del uso de las aves a los elementos de la ciudad.	131
<b>Figura 3.</b> Análisis de uso de la cobertura vegetal en la ciudad.	133

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Estaciones fluviométricas localizadas en la cuenca alta del Magdalena	18
<b>Tabla 2.</b> Estaciones pluviométricas utilizadas en el análisis de frecuencia de precipitación.	20
<b>Tabla 3.</b> Parámetros adoptados del modelo MGB para la cuenca alta del río Magdalena.	26
<b>Tabla 4.</b> Medidas de desempeño durante el proceso de calibración/validación del modelo MGB.	27
<b>Tabla 1.</b> Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo con el índice BMWP/Col y STP (Posada & Roldán, 2003)	41
<b>Tabla 2.</b> Información general de los resultados encontrados respecto a macroinvertebrados bentónicos en el departamento del Huila	42
<b>Tabla 3.</b> Fuentes hídricas y familias de macroinvertebrados bentónicos más representativas	45
<b>Tabla 4.</b> Comparación de indicadores BMWP/Col en diferentes fuentes de los municipios de Campoalegre y Garzón del departamento del Huila	48
<b>Tabla 5.</b> Comparación de indicadores BMWP/Col en diferentes fuentes de los municipios de La Plata y Pitalito del departamento del Huila	49
<b>Tabla 1.</b> Composición florística para especies con (DAP) $\geq$ 1cm, en la desembocadura del río Las Ceibas de Neiva, Huila.	67
<b>Tabla 2.</b> Índice de valor de importancia (IVI) para las especies encontradas en la desembocadura del río Las Ceibas, Neiva, Huila.	86
<b>Tabla 1.</b> Análisis de Componentes Principales (ACP) – Análisis multivariado.	96
<b>Tabla 2.</b> Matriz de Correlación (MC)	97
<b>Tabla 3.</b> Comparación de resultados de composición de los rodales de guadua (%)	98
<b>Tabla 4.</b> Correlaciones canónicas	98
<b>Tabla 5.</b> Clasificación de especies registradas en el área de estudio de acuerdo a los lineamientos de la UICN.	99
<b>Tabla 1.</b> Variables climatológicas óptimas para la “Guadua angustifolia Kunth	112
<b>Tabla 2.</b> Predios identificados para la recolección del material vegetal de “Guadua angustifolia Kunth”	112
<b>Tabla 3.</b> Resumen elementos mayores encontrados en la hoja de “Guadua angustifolia Kunth”	114
<b>Tabla 4.</b> Resumen elementos menores encontrados en la hoja de “Guadua angustifolia Kunth”.	115
<b>Tabla 5.</b> Resumen concentraciones bromatológicas en la hoja de “Guadua angustifolia Kunth”	115



## ÍNDICE DE IMÁGENES

<b>Imagen 1.</b> Punto de instalación de cámaras trampa, vereda El Carmen.	65
<b>Imagen 2.</b> Punto de instalación de cámaras trampa, vereda La Esperanza.	65
<b>Imagen 3.</b> Cámaras trampa instaladas.	66
<b>Imagen 4.</b> Estudiantes de Ingeniería Ambiental en la calibración y revisión periódica de las cámaras trampa.	66
<b>Imagen 5.</b> Especie detectada en la vereda La Esperanza: Nombre común: Guara. Nombre Científico: <i>Dasyprocta Sp.</i>	68
<b>Imagen 6.</b> Especie detectada en la vereda El Carmen. Nombre común: Chucha. Nombre Científico: <i>Didelphis marsupialis.</i>	68
<b>Imagen 7.</b> Especie detectada: Nombre común: Toreador. Nombre Científico: <i>Pitangus sulphuratus.</i>	68
<b>Imagen 8.</b> Especie detectada en la vereda El Carmen: Nombre común: Chilanga. Nombre Científico: <i>Vanellus chilensis.</i>	68
<b>Imagen 9 y 10.</b> Nuevo registro para el departamento del Huila de la comadreja de cola larga, <i>Mustela frenata</i> , en la vereda El Carmen, municipio de Pitalito, departamento de Huila.	69
<b>Imagen 11.</b> Investigador principal y coinvestigador realizando jornada de socialización de avances del proyecto en las veredas El Carmen, La Esperanza y El Pensil.	72
<b>Imagen 12.</b> Jornada de socialización de avances del proyecto en las veredas El Carmen, La Esperanza y El Pensil.	72
<b>Imagen 13.</b> Investigador principal socializando el proyecto en la Institución Educativa José Eustasio Rivera, del corregimiento de Bruselas, municipio de Pitalito.	72
<b>Imagen 14.</b> Investigador principal socializando resultados del proyecto en la Institución Educativa Montessori del municipio de Pitalito.	72

# PRÓLOGO

---

Las cuencas hidrográficas se constituyen en unidades fundamentales de análisis para el desarrollo de procesos de planificación y gestión. La comprensión de su dinámica, estructura y funcionamiento constituyen el soporte para la planificación del territorio y la toma de decisiones. Sin embargo, la funcionalidad y aprovechamiento sostenible son dependientes de la información y el conocimiento de estos ecosistemas, así como de sus regímenes y capacidades de respuesta frente a las intervenciones antrópicas, variabilidad y cambio climático.

Este libro brinda instrumentos y metodologías para la planificación y evaluación del recurso hídrico, así como en la formulación e implementación de mecanismos de adaptación al cambio climático y la gestión integrada de cuencas hidrográficas. La publicación denominada: *“Gestión integrada de la cuenca alta del río Magdalena: instrumentos para su evaluación y planificación”* es producto de investigaciones realizadas por estudiantes, docentes y egresados de la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA) de la UNAD y el grupo de investigación Inyumacizo, categorizado en A por MinCiencias.

El libro está dividido en dos capítulos. Un primer capítulo denominado: “Herramientas para la evaluación y gestión integrada del recurso hídrico” consolida importantes avances en el uso de modelos hidrológicos como instrumentos para la planificación, administración y toma de decisiones, que permiten el análisis de procesos hidrológicos y la evaluación integral del balance hídrico en cuencas hidrográficas. Así mismo se presenta una completa revisión de literatura relacionada con el uso de metodologías para la evaluación de la calidad del agua a partir de macroinvertebrados bentónicos.

El segundo capítulo denominado: “Estrategias de gestión y adaptación al cambio climático en la cuenca alta del río Magdalena” reúne las principales investigaciones relacionadas con la gestión de la biodiversidad en áreas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), la formulación e implementación de medidas de restauración ecológica a partir de caracterizaciones florísticas y estructurales en bosques riparios, caracterizaciones de suelo y balance de nutrientes en la cuenca alta del río Magdalena.

Este documento constituye un valioso recurso a disposición de la comunidad académica, profesionales, técnicos y comunidad en general interesados en temas de sostenibilidad y gestión integrada de cuencas hidrográficas.

Nelly María Méndez Pedroza<sup>1</sup>

Andrés Mauricio Munar Samboni<sup>2</sup>

---

1 Ingeniera Forestal, Universidad del Tolima. Esp. en Gerencia Estratégica de Mercadeo, UNAD. MSc. en Administración de Organizaciones, UNAD. PhD. en Desarrollo Sostenible, Universidad Católica de Ávila, España. Líder ECAPMA Zsur – directora grupo de investigación Inyumacizo, Universidad Nacional Abierta a Distancia (UNAD), Colombia. [nelly.mendez@unad.edu.co](mailto:nelly.mendez@unad.edu.co)

---

2 Ingeniero Ambiental, Universidad del Cauca. MSc. en Ecología y Gestión de Ecosistemas Estratégicos, Universidad Surcolombiana. PhD. en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Brasil. Posdoctorado en Cambio Climático / Recursos Hídricos Cepass/MinCiencias. Docente investigador, Universidad Nacional Abierta a Distancia (UNAD), Colombia. [andres.munar@unad.edu.co](mailto:andres.munar@unad.edu.co)

.....

# HERRAMIENTAS PARA LA EVALUACIÓN Y GESTIÓN INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO

.....



Andrés Mauricio Munar Samboní  
Nelly María Méndez Pedroza  
Martha Cecilia Vinasco Guzmán  
Myrian Sofía Guzmán Oliveros  
Claudia Patricia Cortés Orozco  
Silvia Alejandra Trujillo Zapata  
Lina Paola Caicedo Bolaños  
Miguel Ángel Núñez Burgos

En este capítulo se integran resultados de investigaciones relacionadas con la implementación del modelo hidrológico MGB como herramienta de planificación y gestión integral de recurso hídrico en la cuenca alta del río Magdalena, así como un estudio comparativo de macroinvertebrados bentónicos utilizados como bioindicadores de calidad de agua de esta importante cuenca hidrográfica. Estas investigaciones permitieron conocer nuevas herramientas y métodos para evaluar el estado del recurso hídrico en la cuenca en términos de cantidad y calidad. Los resultados obtenidos podrán ser utilizados en futuros estudios que integren potenciales impactos del cambio climático en el balance hídrico de la cuenca y fortalecer la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH).

## 1.1 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO MGB PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO MAGDALENA

Andrés Mauricio Munar Samboni<sup>3</sup>

Nelly María Méndez Pedroza<sup>4</sup>

---

3 Ingeniero Ambiental, Universidad del Cauca. MSc. en Ecología y Gestión de Ecosistemas Estratégicos, Universidad Surcolombiana. PhD. en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Brasil. Posdoctorado en Cambio Climático / Recursos Hídricos Cepass/MinCiencias. Docente investigador, Universidad Nacional Abierta a Distancia (UNAD), Colombia. [andres.munar@unad.edu.co](mailto:andres.munar@unad.edu.co)

4 Ingeniera Forestal, Universidad del Tolima. Esp. en Gerencia Estratégica de Mercadeo, UNAD. MSc. en Administración de Organizaciones, UNAD. PhD. en Desarrollo Sostenible, Universidad Católica de Ávila, España. Líder ECAPMA Zsur – directora grupo de investigación Inyumacizo, Universidad Nacional Abierta a Distancia (UNAD), Colombia. [nelly.mendez@unad.edu.co](mailto:nelly.mendez@unad.edu.co)

## RESUMEN

---

Los impactos del cambio climático en el uso del suelo y en la cobertura vegetal pueden influenciar significativamente el balance hídrico y los ciclos biogeoquímicos en las

cuenas hidrográficas, alterando los procesos de interceptación, evapotranspiración, infiltración, humedad del suelo, ciclo de nutrientes y los patrones espaciales y temporales que caracterizan la respuesta hidrológica de estos ecosistemas. Este trabajo presenta la implementación del modelo hidrológico MGB para la gestión integral de recurso hídrico en la cuenca alta del río Magdalena, utilizando bases de datos de estaciones de precipitación disponibles en la región. El modelo representó satisfactoriamente el proceso de transformación lluvia-caudal en la cuenca alta del río Magdalena para los datos de precipitación considerados. Los resultados obtenidos muestran un buen ajuste del modelo, especialmente para la parte media y baja de la cuenca. El marco de investigación aquí propuesto permitirá una mejor comprensión de los impactos del cambio climático en el régimen hidrológico de una cuenca hidrográfica, para así generar estrategias de gestión y conservación. Este abordaje podría ser utilizado en futuros estudios que integren alteraciones en el uso del suelo y cobertura vegetal, calidad del agua, transporte de sedimentos y gestión de los recursos hídricos.

**Palabras clave:** cuencas hidrográficas, cambio climático, modelación hidrológica.

## ABSTRACT

---

The climate change impacts on land use and vegetation cover can significantly influence the water balance and biogeochemical cycles in river basins, altering the processes of interception, evapotranspiration, infiltration, soil moisture, nutrient cycling and spatial and temporal patterns that characterize the hydrological response in these ecosystems. This paper presents the implementation of the MGB model for the integral management of water resources in the upper Magdalena River Basin using databases of precipitation stations available in the region. The model satisfactorily represented the rain-streamflow transformation process in the upper Magdalena River Basin. The results showed a good fit of the MGB model, especially for the middle and lower part of the River Basin. The research framework proposed here will allow a better understanding of the climate change impacts on the hydrological regime and water balance of a river basin, in order to generate management and conservation strategies. This approach could be used in future studies that integrate alterations in land use and vegetation cover, water quality, sediment transport, and water resources management.

**Keywords:** Watersheds, climate change, hydrological modeling.

# INTRODUCCIÓN

---

Uno de los principales desafíos para la humanidad hoy en día es enfrentar las consecuencias del cambio climático, las cuales tienen impacto en los ecosistemas, la sociedad y la economía. En las últimas décadas, el efecto del cambio climático sobre el régimen hidrológico se ha destacado debido a los impactos en los recursos hídricos, especialmente relacionados con eventos hidrológicos extremos (p.ej. sequías e inundaciones) (Chen et al., 2016; Hirabayashi et al., 2008; Nijssen et al., 2001; Wang et al., 2015). Así mismo, los cambios significativos en los patrones de las principales variables meteorológicas (p. ej. temperatura y precipitación) que se prevén para el final del siglo XXI (IPCC, 2013), conllevan a la necesidad de proponer herramientas de gestión que ayuden a la conservación de los ecosistemas frente a diferentes usos, y que permitan el entendimiento de la dinámica, funcionamiento y monitoreo.

Los modelos hidrológicos que simulan la transformación de la lluvia en caudal son importantes herramientas que representan los diversos procesos del ciclo hidrológico que interactúan en una cuenca hidrográfica (Bravo et al., 2009). Recientes estudios en Suramérica (Adam e Collischonn, 2013; Bravo et al., 2014a; Bravo et al., 2014b; Collischonn et al., 2014; Paiva et al., 2011; Sorribas et al., 2016; Tavares et al., 2019; Tejasdas et al., 2016) han utilizado proyecciones de variables climáticas acopladas con modelos hidrológicos para verificar el impacto en las principales variables hidrológicas de cuencas hidrográficas. Sin embargo, pocos estudios han sido desarrollados en esos ecosistemas acoplando modelación hidrológica en escalas regionales y en cuencas tropicales.

La cuenca del río Magdalena enfrenta desafíos en la gestión y disponibilidad del recurso hídrico, que requieren evaluaciones hidrológicas confiables (Elgamal et al., 2017). Por otro lado, el análisis hidrológico y las simulaciones a través de modelos se ven obstaculizados por un conocimiento insuficiente e incierto de dinámica del régimen hidrológico en la cuenca. Por tanto, la integración de modelación hidrológica y datos *in-situ* permitiría mejorar la comprensión de los principales factores que controlan los procesos hidrológicos/hidrodinámicos de la cuenca, facilitando la evaluación simultánea de diferentes periodos hidrológicos (húmedos y secos, variación diaria y estacionalidad), y las respuestas de la cuenca a potenciales impactos del cambio climático (Munar et al., 2018; 2019).

La cuenca alta del río Magdalena, localizada en el departamento del Huila, de acuerdo con la Evaluación Regional del Agua (ERA), realizada por la Corporación Autónoma Re-



gional del Alto Magdalena (CAM) (CAM, 2018), en un año hidrológico medio produce 17 787 millones de metros cúbicos al año, volumen suficiente para suministrar agua a una población equivalente a 236 millones de habitantes, bastante mayor que la población de Brasil (208.5 millones de habitantes (IBGE, 2017)). A pesar de los esfuerzos realizados en los últimos años, se hace necesario proteger las zonas estratégicas en lo relacionado con la disponibilidad hídrica, debido a los enormes beneficios ambientales que trae consigo la preservación de la fauna y la flora silvestre que corresponde al verdadero capital ambiental para el departamento, el país y el mundo entero. Adicionalmente, cada vez se hace necesario utilizar la información científica para estrechar la relación existente entre las dinámicas climáticas y sus relaciones con el ciclo del agua, el cambio de los usos del suelo y las actividades socioeconómicas. Cabe destacar que, en el departamento del Huila, los principales efectos podrán reflejarse en el sector agrícola debido a los aumentos en precipitación, particularmente para monocultivos extensivos dada la posibilidad de aumento en plagas y enfermedades. La biodiversidad asociada a las zonas de mayor aumento de temperatura podrá verse afectada por estrés térmico (IDEAM, 2015b).

En esta investigación se implementó un modelo hidrológico para simular el comportamiento de la cuenca alta del río Magdalena en las diferentes variables hidrológicas (p. ej. caudales, niveles de agua). Este enfoque usando la sinergia entre modelación hidrológica y datos *in-situ* permitió un mejor entendimiento sobre la dinámica hidrológica en cuenca hidrográfica y puede servir como herramienta de gestión y planificación para la modelación de diferentes escenarios reales e hipotéticos. La metodología propuesta podría ser usada en futuros estudios que integren alteraciones en el uso del suelo y cobertura vegetal, calidad del agua, transporte de sedimentos y gestión de los recursos hídricos.

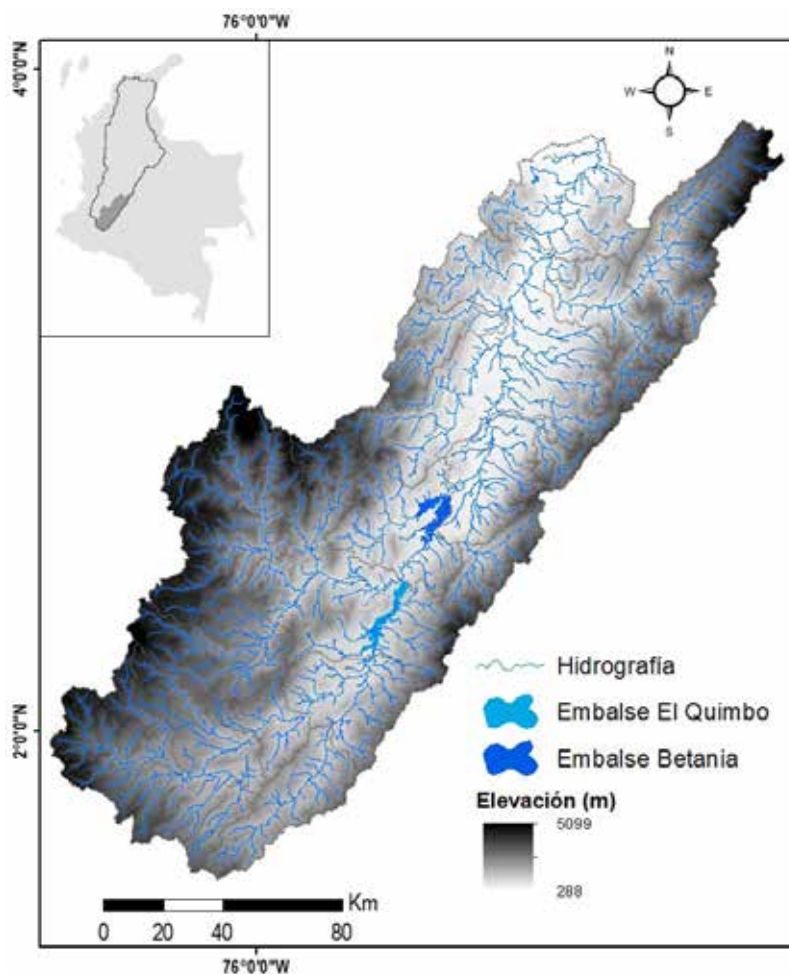
## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La cuenca alta del río Magdalena se ubica al sur de la región Andina colombiana (Figura 1), específicamente en el departamento del Huila, formando parte integral del macizo colombiano, lugar que constituye la estrella hídrica más importante del país (IDEAM, 2015a). Adicionalmente, la cuenca posee cerca de su cuarta parte en bosques andinos, ubicados en áreas naturales de importancia nacional, regional y local, algunas de las cuales se encuentran declaradas como áreas protegidas y otras se encuentran en proceso de declaratoria. Estas áreas, en conjunto con las pertenecientes al Siste-

ma de Parques Nacionales Naturales, constituyen los principales nichos de diversidad biológica, producción hídrica y representatividad ecosistémica del departamento, y cumplen funciones estratégicas en términos de conectividad biológica de los corredores de oferta de bienes y servicios ambientales para la región y el país (CAM, 2018).

**Figura 1.** Cuenca alta del río Magdalena mostrando la red de drenaje, elevación y los embalses de El Quimbo y Betania.



**Fuente:** los autores

El recurso hídrico en la cuenca presenta una gran presión, siendo el sector agrícola el que mayor demanda registra con 47 284,6 l/s correspondientes al 71 % de la demanda total (CAM, 2018). Los cultivos más importantes en términos de producción y extensión

son el arroz y el café. Adicionalmente, se registran otras actividades antrópicas relacionadas con el recurso hídrico como la generación de energía eléctrica por medio de los embalses de Betania y El Quimbo (Figura 1), piscicultura, turismo, ganadería, minería y extracción de petróleo. Las principales corrientes superficiales corresponden a los ríos Magdalena, Páez, Suaza, Cabrera, Bache, Guarapas, Aipe, Yaguará, Neiva y Bordones. La oferta hídrica estimada en el marco de la Evaluación Regional del Agua (ERA) registra un valor de 545 m<sup>3</sup>/s (CAM, 2018).

## Datos

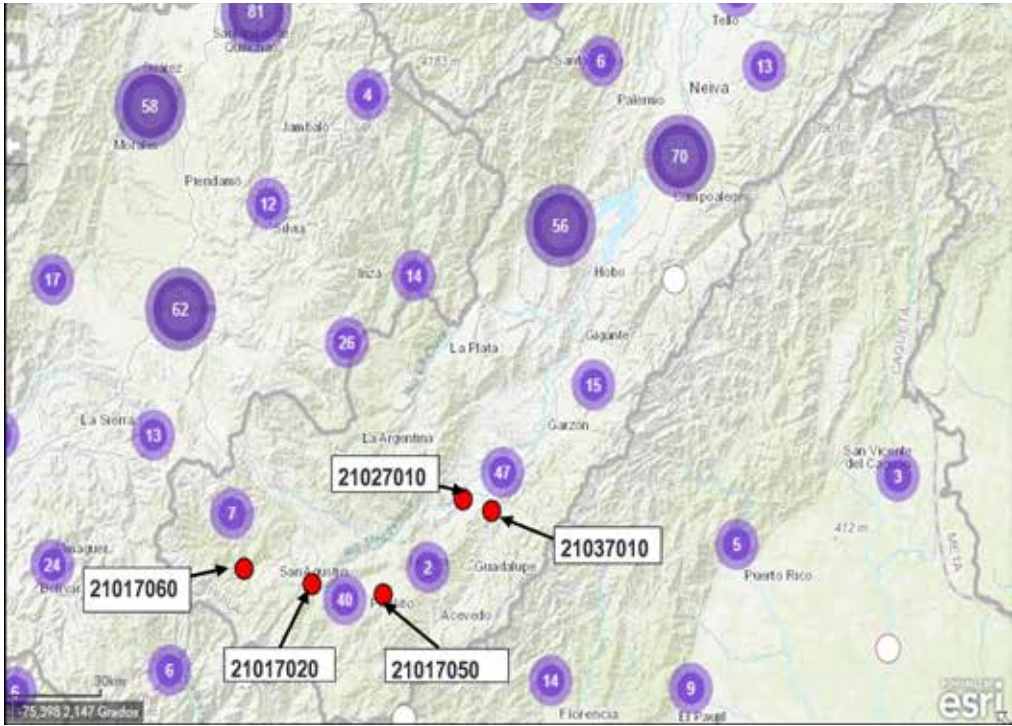
Las informaciones hidrometeorológicas y fisiográficas de cada estación fluviométrica y pluviométrica fueron obtenidas a partir de la base de datos gestionada por el IDEAM, de acuerdo con la información disponible en el banco de datos hidrometeorológicos (IDEAM, 2019). Inicialmente, fueron analizados datos de caudal medio diario para estaciones de la cuenca alta del río Magdalena (Tabla 1), localizadas sobre el cauce del río Magdalena, en los municipios de San Agustín, Pitalito, Altamira y Guadalupe.

**Tabla 1.** Estaciones fluviométricas localizadas en la cuenca alta del Magdalena

No	Código	Estación	Extensión de la serie histórica (años)	Inicio	Fin	Río	Municipio
1	21017050	Pitalito	44	01/04/1971	31/12/2015	Guarapas	Pitalito
2	21017020	Cascada Simon Bolívar	44	03/04/1971	31/12/2015	Magdalena	San Agustín
2	21017060	La Magdalena	44	03/04/1971	31/12/2015	Magdalena	San Agustín
3	21027010	Pericongo	35	01/06/1980	31/12/2015	Magdalena	Altamira
4	21037010	Puente Garcés	51	15/04/1964	31/12/2015	Suaza	Guadalupe

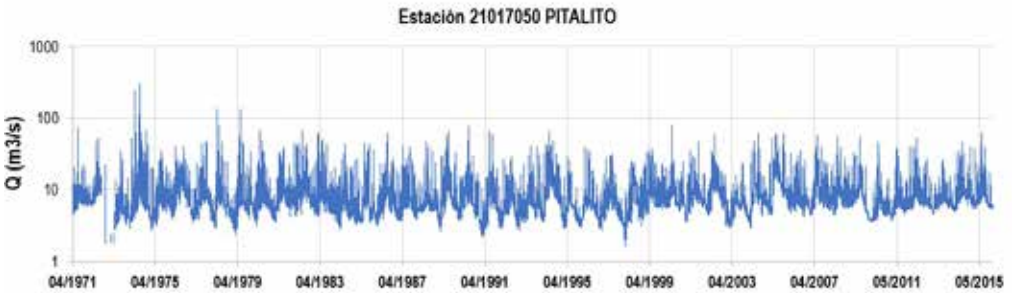
En la siguiente imagen se presentan las estaciones analizadas:

**Figura 2.** Localización de estaciones sobre el cauce del río Magdalena, en el municipio de San Agustín (21017060 y 21017020). Fuente: los autores



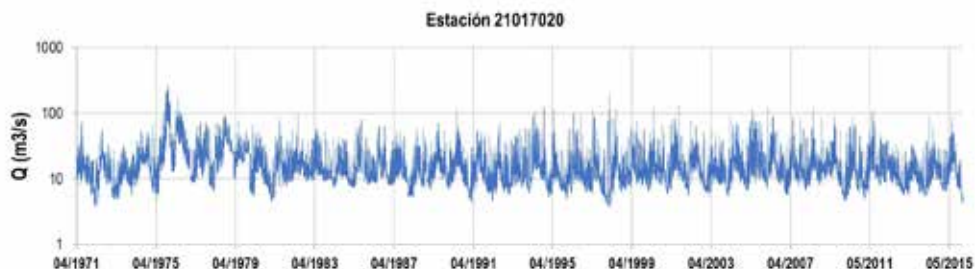
En las siguientes imágenes se presentan las variaciones de caudal diario para dos de las estaciones analizadas:

**Figura 3.** Variación del caudal medio diario durante el periodo 1971 – 2015 para la Estación 21017050 PITALITO.



**Fuente:** los autores

**Figura 4.** Variación del caudal medio diario durante el periodo 1971 – 2015 para la Estación 21017020.



**Fuente:** los autores

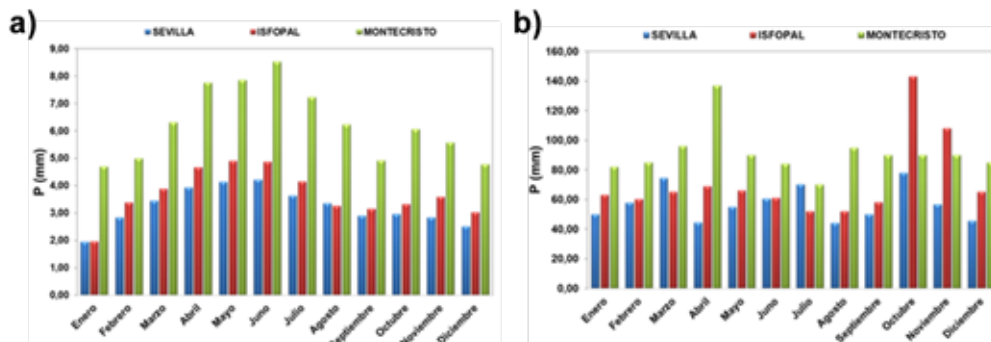
Así mismo, fueron analizados datos de precipitación para las estaciones localizadas en la cuenca alta del río Magdalena. En la siguiente tabla se presenta la información de algunas estaciones pluviométricas analizadas.

**Tabla 2.** Estaciones pluviométricas utilizadas en el análisis de frecuencia de precipitación.

N°	Código	Estación	Extensión de la serie histórica (años)	Inicio	Fin	Cuenca	Municipio
1	21010110	INSFOPAL	48	15/03/1971	31/12/2019	Guarapas	Pitalito
2	21015020	Sevilla	48	15/06/1971	31/12/2019	Guachicos	Pitalito
2	21010210	Montecristo	39	14/05/1980	31/12/2019	Guachicos	Pitalito

En las siguientes figuras se presentan los valores medios mensuales multianuales y valores máximos multianuales de precipitación. Se puede observar en la Figura 5b la presencia del régimen bimodal en la distribución temporal de las precipitaciones. Adicionalmente, se observa que los valores medios y máximos mensuales multianuales de precipitación en la parte alta de la microcuenca (Estación Montecristo) son más altos que en las estaciones localizadas en la parte baja de la microcuenca del río Guachicos (Estación Sevilla e INSFOPAL).

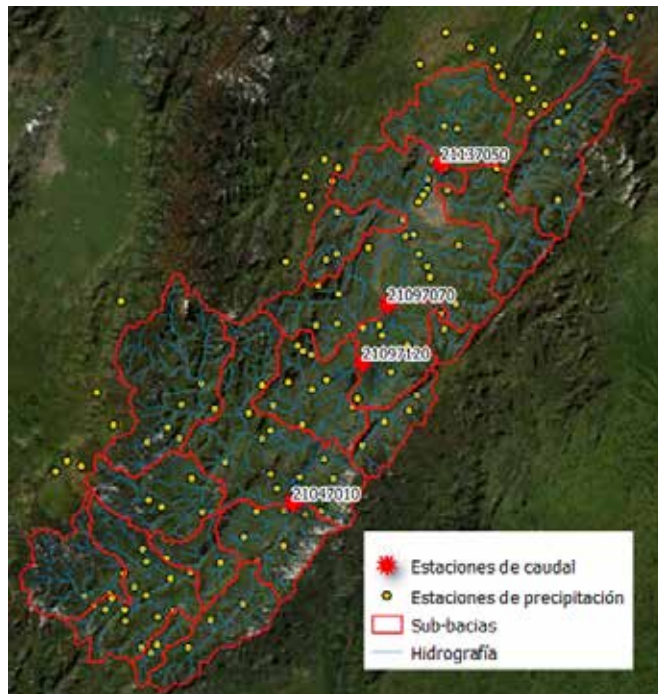
**Figura 5.** a) Valores medios y b) valores máximos multianuales de precipitación en las estaciones Sevilla, Isfopal.



**Fuente:** los autores.

En total, para la cuenca alta del río Magdalena, se seleccionaron cuatro estaciones de caudal y 137 estaciones de precipitación, las cuales se encuentran dentro de la cuenca y algunas bordeando la cuenca (Figura 6).

**Figura 6.** Subcuencas, estaciones de precipitación y caudal utilizadas para la calibración/validación del modelo hidrológico.



**Fuente:** los autores

Para calcular la evapotranspiración en el modelo hidrológico, se utilizaron datos de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, presión atmosférica y sol (horas de sol al día). Fue utilizada la base de datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU) de la Universidad de Anglia del Este, el cual es un organismo internacional que recopila estadísticas históricas climáticas que permiten analizar el largo plazo desde una perspectiva global (Goerlich Gisbert, 2012)

CRU representa una variedad de datos que tienen una resolución general de diez minutos. Para el modelo hidrológico fueron requeridos datos de “elevación”, “humedad relativa”, “sol”, “temperatura media” y “velocidad del viento de 10 m.

## MODELACIÓN HIDROLÓGICA

El modelo hidrológico de gran escala (MGB) (<https://www.ufrgs.br/hge/mgb/downloads/>) fue utilizado en este estudio. El MGB es un modelo distribuido basado en conceptos físicos que representa el ciclo hidrológico terrestre (Collischonn et al., 2007). El modelo adopta una discretización de la cuenca en unidades irregulares, definidas a partir de datos de relieve de un Modelo de Elevación Digital (MDE), y llamadas minicuevas. Para la simulación hidrológica, el MGB utiliza las combinaciones de cobertura vegetal y tipo de suelo en cada minicuenca siguiendo el enfoque de la Unidad de Respuesta Hidrológica (HRU) (Kouwen et al., 1993). En la siguiente ecuación se presenta el balance hídrico estimado a través del modelo MGB:

$$W^{t}_{i,j} = W^{t-1}_{i,j} + (P_{i,j} + E_{i,j} + Dsup_{i,j} + Dint_{i,j} + Dbas_{i,j} + Dcap_{i,j})$$

Donde  $W^{t}_{i,j}$  corresponde al agua almacenada en la capa de suelo al final del paso de tiempo en la minicuenca  $i$  para la unidad de respuesta hidrológica  $j$ ;  $W^{t-1}_{i,j}$  corresponde al agua almacenada en la capa de suelo al inicio del paso de tiempo;  $P_{i,j}$  es la precipitación que alcanza el suelo;  $E_{i,j}$  es la evapotranspiración;  $Dsup_{i,j}$  es la escorrentía superficial,  $Dint_{i,j}$  corresponde al flujo base; y  $Dbas_{i,j}$  y  $Dcap_{i,j}$  corresponden a flujo al acuífero y desde el acuífero a la capa de suelo respectivamente. Todas las variables son expresadas en el mm.

La evapotranspiración se calcula mediante el método de Penman-Monteith (Shuttleworth, 1993), el cual utiliza la resistencia aerodinámica del follaje en función de la

altura de los instrumentos meteorológicos, la altura de la vegetación y la resistencia estomática. El modelo utiliza cinco variables climatológicas para calcular la evapotranspiración: temperatura del aire, presión de vapor, velocidad del viento, radiación neta y presión atmosférica.

En el modelo MGB la intercepción del dosel está representada por un reservorio con capacidad máxima de almacenamiento de acuerdo con el Índice de Área Foliar (IAF). El balance de agua del suelo y la escorrentía se calculan utilizando el enfoque del modelo Arno (Todini, 1996) y la propagación del flujo se realiza utilizando el método Muskingum Cunge (MC).

El modelo MGB se ha aplicado satisfactoriamente en diferentes cuencas suramericanas (Fan et al., 2015; Idoyaga et al., 2017; Munar et al., 2018; Paiva et al., 2013; Siqueira et al., 2016a). En esta investigación, el modelo MGB se utilizó para evaluar el comportamiento hidrológico de la cuenca en las principales variables hidrológicas (p. ej. caudales y niveles de agua).

Para la calibración del modelo MGB se utilizaron las siguientes medidas de desempeño: coeficiente de correlación de Pearson ( $R^2$ ), coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (Nash y Sutcliffe, 1970) para caudal (ENS), coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe para logaritmos de caudal (Enslog), errores de volumen relativo (DV %) y eficiencia de Kling-Gupta (KGE). Estas métricas se calcularon entre los datos observados *in-situ* y los datos simulados por el modelo en cada estación de aforo de caudal disponible. El periodo del modelo de calibración/validación se estableció desde el 1 de enero de 1990 hasta el 31 de diciembre de 2020, siendo el primer año (1990) empleado como tiempo de puesta en marcha del modelo para mitigar la influencia de las condiciones iniciales.

Para la aplicación del modelo MGB en la cuenca alta del río Magdalena se consideró el embalse con mayor potencial regulatorio, correspondiente a Betania. La serie de caudales medidos fue forzada en la estación La Esperanza a la salida de Betania desde 1990. Esto usando información de caudales de almacenamiento y efluentes fue obtenida desde el Sistema Nacional de Transmisión (<https://www.xm.com.co/Paginas/Hidrologia/>).

## PREPROCESAMIENTO DE DATOS

El trabajo de preprocesamiento de datos consistió en utilizar herramientas como geoprocésamiento y programas de computadora para construir los archivos de entrada del modelo. La delimitación de la microcuenca hidrográfica fue realizada utilizando



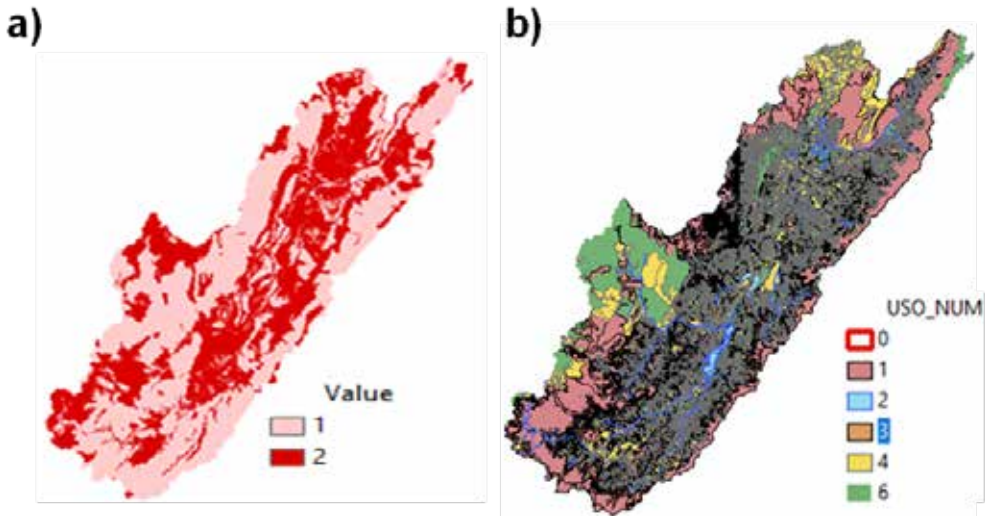
operaciones de geoprocésamiento mediante el **software** libre QGIS, usando el Plugin IPH Hydro Tools (Siqueira et al., 2016b), considerando como entrada el Modelo Digital de Elevación (MDE) usando la herramienta de interpolación **Topo to Raster** del software **Esri ArcGIS 10.5**. Las curvas de nivel utilizadas serán obtenidas a partir de la información por plancha de la cartografía base escala del IGAC (IGAC, 2019). La secuencia de operaciones fue la siguiente:

- Relleno de fallas del modelo digital de elevación, cuyo objetivo es corregir valores nulos en la matriz y zonas muertas de flujo.
- Determinación de la dirección de flujo para estimar el camino más probable para la red de drenaje a partir de una evaluación de declividad en la vecindad de cada píxel.
- Mapeo del flujo acumulado determinando la cantidad de píxeles que drenan por encima de cada píxel, lo que posibilita la determinación del área drenada en cada píxel.
- Definición del área de drenaje y opcionalmente de la red de drenaje a partir de los mapas anteriores.

La discretización de la cuenca en minicuecas se utilizó para determinar las direcciones de flujo, calcular el área de drenaje acumulada, delimitar las subcuecas según las estaciones fluviométricas y definir la red de drenaje. Como resultado, la cuenca alta del río Magdalena se discretizó espacialmente en 18 subcuecas y 1518 minicuecas.

Para determinar los bloques de tipo de suelo y cobertura vegetal, que responden de forma hidrológicamente homogénea a los estímulos climáticos, se realizó el balance hídrico vertical en el modelo MGB en cada minicuenca. Dado que los procesos de interceptación, infiltración y almacenamiento de agua en el suelo dependen principalmente del tipo de cobertura y del tipo de suelo, en esta aplicación se realizó el mapeo de las Unidades de Respuesta Hidrológica (URH) considerando estos dos factores. El tipo y uso de suelo en la cuenca fue obtenido a través de información recopilada por la Corporación Autónoma del Alto Magdalena (CAM) y su Oficina de Planeación (OPL), las cuales se encuentran actualizadas con la metodología **Corine Land Cover** y son de dominio público. La clasificación referida al tipo de suelo manifiesta que para cada tipo de suelo se disponen las categorías 1 y 2 (suelos poco profundos = 1 y suelos profundos = 2). En cuanto a la clasificación de uso de suelo, presenta que para cada uso de suelo se disponen las categorías 2, 3, 4, 5 y 6 (cuerpo de agua = 2, área construida = 3, cobertura arbustiva = 4, área húmeda = 5 y suelo expuesto = 6) (Figura 7). Como resultado, se definieron nueve URH, siendo la cobertura arbustiva en suelos profundos las URH más grandes que representan más del 53 % del área de la cuenca.

**Figura 7.** Clasificación correspondiente a) uso de suelo y b) tipo de suelo.



**Fuente:** los autores

Una vez terminada la etapa de preprocesamiento, fueron procesados los archivos creados en las etapas anteriores para generar los archivos necesarios para la simulación hidrológica en el modelo MGB.

Los siguientes archivos fueron utilizados:

- Modelo Digital de Elevación (MDE)
- Direcciones de escorrentía
- Minicuenas (cuencas por tramos de río)
- Red de drenaje segmentada en la
- Clases de respuesta hidrológica (HRCs)
- Subcuencas

## CALIBRACIÓN DE PARÁMETROS

En la calibración del modelo MGB se consideraron parámetros fijos y parámetros calibrables. Los parámetros fijos están asociados con la vegetación existente en cada HRU, como el albedo, la altura de la vegetación, el índice de área foliar y la resistencia de la superficie en buenas condiciones de humedad del suelo. En el modelo, todos estos parámetros se utilizan en el cálculo de la evapotranspiración por el método Penman-Monteith (Shuttleworth, 1993). Los parámetros del suelo a menudo se modifica-

ron en el proceso de calibración y también se asocian con URH. La Tabla 3 muestra el significado de los parámetros calibrables y los rangos de variación adoptados para la aplicación del modelo MGB en la cuenca alta del río Magdalena.

**Tabla 3.** *Parámetros adoptados del modelo MGB para la cuenca alta del río Magdalena.*

Parámetro	Descripción	Rango sugerido	Valor medio adoptado
Wm (mm)	Capacidad máxima de almacenamiento de la capa superficial del suelo. Depende del tipo de suelo. Un valor para cada URH.	50-1000	250
b (-)	Variabilidad del volumen máximo de los reservorios que representan la capa superficial del suelo. Depende del tipo de suelo y de su profundidad. Afecta el escurrimiento superficial. Un valor para cada URH.	0.02 - 1.6	0.38
Kint (-)	Tasa de flujo de agua subsuperficial cuando el suelo se encuentra saturado. Depende del tipo de suelo. Afecta al escurrimiento subsuperficial. Un valor para cada URH.	4-40	4.5
XL (-)	Índice de porosidad del suelo. Depende del tipo de suelo. Afecta al escurrimiento subsuperficial. Un valor para cada URH.	0.67	0.67
Kbas (mm/día)	Tasa de flujo de agua subterránea cuando el suelo se encuentra saturado. Depende del tipo de suelo. Afecta al escurrimiento subterráneo. Un valor para cada URH.	0.05-5	0.1
Wc (-)	Parámetro sin significado físico que evita valores negativos e inestabilidades del modelo. Un valor para cada URH. En general, no se recomienda utilizar valores distintos a 0,1.	0.1	0.1
Cs (-)	Multiplica al tiempo de concentración para definir el tiempo de respuesta superficial de las minicuecas. Afecta el caudal de salida superficial. Un valor único para todas las URH.	1-20	5.5
Ci (-)	Multiplica al tiempo de concentración para definir el tiempo de respuesta subsuperficial de las minicuecas. Afecta el caudal de salida subsuperficial. Un valor único para todas las URH.	50-200	103

**Fuente:** los autores

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## MODELACIÓN HIDROLÓGICA

### Calibración/validación del modelo hidrológico

Los resultados obtenidos del proceso de calibración/validación del modelo MGB indican que, en todas las estaciones, el  $R^2$  fue superior a 0,6. En el 75 % de las estaciones, el ENS fue superior a 0,5 y el ENSlog y el KGE fueron superiores a 0,5 y 0,7 respectivamente. Los errores de volumen relativo (DV %) fueron inferiores al 11 % para más del 75 % de las estaciones de medición de caudal analizadas (Tabla 4).

**Tabla 4.** Medidas de desempeño durante el proceso de calibración/validación del modelo MGB.

No	Estación	R2	ENS	ENSlog	KGE	DV (%)
1	21047010	0,61	0,21	0,29	0,41	-24,3
3	21097120	0,95	0,90	0,84	0,95	0,4
2	21097070	0,84	0,67	0,67	0,77	-10,4
4	21137050	0,74	0,53	0,51	0,70	1,9

**Fuente:** los autores

De acuerdo con los resultados, se puede apreciar una leve tendencia a subestimar los caudales máximos y una sobreestimación de los caudales mínimos calculados por el modelo para los datos de precipitación utilizados. Un indicador de subestimación de los caudales calculados es el valor negativo del error de volumen (DV%), especialmente en la parte alta de la cuenca. (Tabla 4).

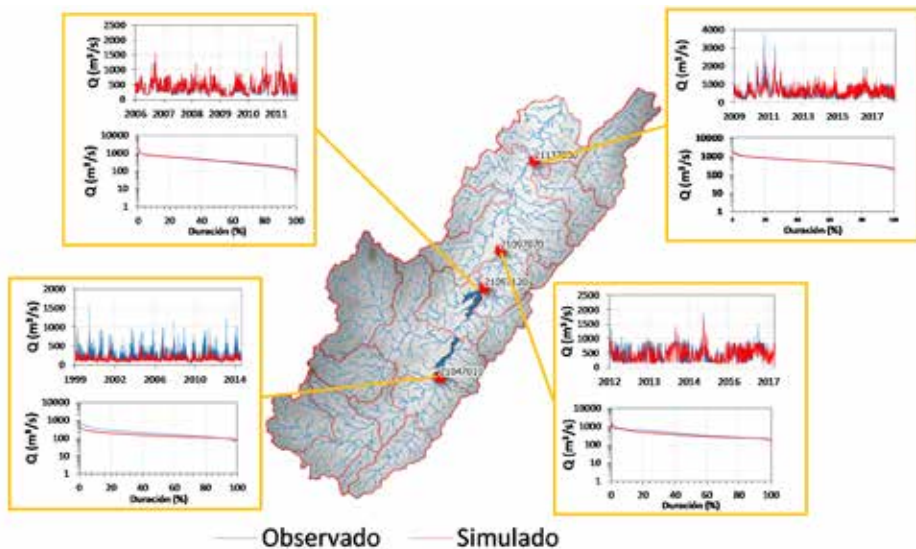
### Comparación de hidrogramas y curvas de permanencia observadas y simulados por el modelo MGB

Los resultados obtenidos de la comparación de hidrogramas y curvas de permanencia observadas y simulados por el modelo MGB revelan que el modelo en general reproduce razonablemente el comportamiento de los caudales durante el periodo enero de 1990 – diciembre de 2020 (Fig. 8).

Los caudales simulados por el modelo MGB se ajustaron bien con los caudales observados. Los resultados de los caudales simulados frente a los observados en cuatro puntos de control (Fig. 8), indicaron que la mayoría de los caudales máximos de las estaciones de medición ubicadas en la cuenca baja, fueron bien representados por el modelo MGB. Sin embargo, pequeños picos de caudal fueron representados con algunas limitaciones. Estos resultados fueron consistentes con los reportados previamente en diferentes cuencas en Suramérica (Bortolin et al., 2020; De Queiroz et al., 2019; Idoyaga et al., 2017; Munar et al. 2018; Oliveira et al., 2019; Zubieta et al., 2015).

Dentro de las limitaciones de la aplicabilidad del modelo MGB y la capacidad de representar los caudales en la cuenca alta se pueden incluir los datos de entrada utilizados para el modelo, entre ellos la precipitación. Esta variable es la más sensible de todas las variables de entrada y puede causar errores significativos en todas las variables de salida del modelo (por ejemplo, caudales y niveles de agua) (Mul et al., 2009; Sharma et al., 2012).

**Figura 8.** Hidrogramas y curvas de duración de caudales simulados y observados en las cuatro estaciones de medición de caudal.



**Fuente:** los autores

## CONCLUSIONES

---

Esta investigación consistió en evaluar la dinámica hidrológica de la cuenca alta del río Magdalena aplicando el **Modelo de Grandes Cuencas** (sigla en portugués MGB). Los resultados obtenidos revelan que los hidrogramas y curvas de permanencia simuladas por el modelo se ajustan con los datos observados en las estaciones fluviométricas de la cuenca analizada.

En general y considerando los resultados obtenidos en las pruebas de simulación y verificación de los datos de precipitación considerados, se puede afirmar que el modelo permite evaluar resultados y estimar caudales mínimos, medios y máximos de manera consistente, en la cuenca alta del río Magdalena. Además, los resultados obtenidos ya permiten realizar estudios como el análisis de procesos hidrológicos, la cuantificación de la disponibilidad de agua en subcuencas y la evaluación de las consecuencias de los cambios de uso y cobertura vegetal sobre el caudal de la cuenca, así como los impactos del cambio climático en el balance hídrico de la cuenca.

## AGRADECIMIENTOS

---

Los autores agradecen al Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) de la Universidad Federal de Río Grande del Sur UFRGS – Brasil por la disponibilidad del modelo MGB utilizado en esta investigación.

## REFERENCIAS

---

Adam, K. N. y Collischonn, W. (2013). Análise dos impactos de mudanças climáticas nos regimes de precipitação e vazão na bacia hidrográfica do rio Ibicuí. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 18(3), 69-79.

Adam, K. N., Rogenes, P., Fan, F. M., Collischonn, W. y Bravo, J. M. (2015). Mudanças climáticas e vazões extremas na bacia do rio Paraná. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 20, 999-1007.

Aguilar, F. A. (2010). *Modelos matemáticos no lineales como herramienta para evaluar el crecimiento de tilapia roja (Oreochromis spp.) y tilapia nilótica (Oreochromis niloticus Var. Chitralada) alimentadas con dietas peletizadas o extruida*. <http://www.bdigital.unal.edu.co/2813/>

Bortolin, T. A., Valentini, J. F., Reginato, P. A. R., Mendes, L. A., & Schneider, V. E. (2020). Use of a hydrological model in two sub-basins in Southern Brazil. *Sustainable Water Resources Management*, 6(4), 1-10.

Bravo, J. M., Collischonn, W., & Tucci, C. E. (2009). Verificação da Eficiência e Eficácia de um Algoritmo Evolucionário Multi-objetivo na Calibração Automática do Modelo Hidrológico IPH II. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 14(3), 37-50.

Bravo, J. M., Collischonn, W., Paz, A. R., Allasia, D., & Domecq, F. (2014). Impact of projected climate change on hydrologic regime of the Upper Paraguay River basin. *Climatic Change*, 127(1), 27-41.

Bravo, J. M., Collischonn, W., Silva, B. C., Rodrigues, D. A., Fan, F.M., Quiroz, K. y Rogenes, P. (2014). Impacto nas aflúências das principais bacias. In: Jose Wanderley Marangon Lima, Walter Collischonn, José A. Marengo. (Org.). *Efeitos das Mudanças Climáticas na Geração de Energia Elétrica*. (1.ª ed.) São Paulo: Hunter, cap. 6, (pp. 245-282).

Cabrera, J. W. (2012). Unidad de Respuesta Hidrológica (H.R.U.). Instituto para la Mitigación de os efectos del Fenómeno del Niño - Universidad Nacional de Ingeniería, 1-2.

Chen, Y. D., Zhang, Q., Xiao, M., Singh, V. P., & Zhang, S. (2016). Probabilistic forecasting of seasonal droughts in the Pearl River basin, China. *Stoch Env Res Risk Assess*, 30(7), 2031–2040. <http://dx.doi:10.1007/s00477-015-1174-6>

Collischonn, W., Allasia, D., Da Silva, B. C., & Tucci, C. E. (2007). The MGB-IPH model for large-scale rainfall runoff modelling. *Hydrol. Sci. J.* 52, 878–895. <http://dx.doi.org/10.1623/hysj.52.5.878>

Collischonn, W., Bravo, J. M., Silva, B. C. y Rodrigues, D. A. (2014). Modelagem Hidrológica. In: Lima, J. W. M., Collischonn, W., Marengo, J. A. (Org.). *Efeitos das Mudanças Climáticas na Geração de Energia Elétrica*. (1.ª ed.) São Paulo: Hunter, cap. 3, (pp. 95-143).

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena [CAM]. (2018). *Estudio de la Evaluación Regional del Agua (ERA)*.

De Queiroz, A. R., Faria, V. A., Lima, L. M., & Lima, J. W. (2019). Hydropower revenues under the threat of climate change in Brazil. *Renewable energy*, 133, 873-882.

Elgamal, A., Reggiani, P., & Jonoski, A. (2017). Impact analysis of satellite rainfall products on flow simulations in the Magdalena River Basin, Colombia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 9, 85-103.

Fan, F. M., Schwanenberg, D., Collischonn, W., & Weerts, A. (2015). Verification of inflow into hydropower reservoirs using ensemble forecasts of the TIGGE database for large scale basins in Brazil. *J. Hydrol. Region. Stud.* 4, 196–227. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.05.012>

Gisbert, F. J. G. (2012). Datos climáticos históricos para las regiones españolas. *CRU TS 2.1. Investigaciones de Historia Económica*, 8(1), 29-40.

Hirabayashi, Y., Kanae, S., Emori, S., Oki, T., & Kimoto, M. (2008). Global projections of changing risks of floods and droughts in a changing climate. *Hydrol Sci J/J des Sci Hydrol*, 53(4), 754–772.

Idoyaga, A. L., Cáceres, M. M. y Báez, J. (2017). Implementación del modelo hidrológico de grandes cuencas mgb-iph en la cuenca del río Acaray. *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay*, 22(1), 61-74.



Instituto Brasileiro de Geografia y Estadísticas [IBGE]. (2017). Población de Brasil.

IDEAM. (2015a). Estudio Nacional del Agua (ENA).

IDEAM, PNUD, MADS, DNP y Cancillería. (2015b). Escenarios de cambio climático para precipitación y temperatura para Colombia 2011-2100. Herramientas científicas para la toma de decisiones—estudio técnico completo: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2019). Consulta de datos hidrometeorológicos. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2019). Datos abiertos cartografía y geografía. <https://geoportal.igac.gov.co/es/contenido/datos-abiertos-cartografia-y-geografia>

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2013). Climate Change 2013: the physical basis. Contribution of Working Group 1 to the Fifth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press.

Kouwen, N., Soulis, E., Pietroniro, A., Donald, J., & Harrington, R. (1993). Grouped response units for distributed hydrologic modeling. *J. Water Resour. Plan. Manage.* 119, 289–305. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1993\)119:3\(289\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1993)119:3(289))

Mul, M. L., Savenije, H. H. G., & Uhlenbrook, S. (2009). Spatial rainfall variability and runoff response during an extreme event in a semi-arid catchment in the South Pare Mountains, Tanzania. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 13, 1659–1670. <https://doi.org/10.5194/hess-13-1659-2009>.

Munar, A. M., Cavalcanti, J. R., Bravo, J. M., Fan, F. M., da Motta-Marques, D., & Frago Jr, C. R. (2018). Coupling large-scale hydrological and hydrodynamic modeling: Toward a better comprehension of watershed-shallow lake processes. *Journal of hydrology*, 564, 424-441.

Munar, A. M., Cavalcanti, J. R., Bravo, J. M., Da Motta-Marques, D., & Frago Jr, C. R. (2019). Assessing the large-scale variation of heat budget in poorly gauged watershed-shallow lake system using a novel integrated modeling approach. *Journal of Hydrology*, 575, 244-256.

Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I-A discussion of principles. *Journal of hydrology*, 10(3), 282-290.

Nijssen, B., O'Donnell, G. M., Hamlet, A. F., & Lettenmaier, D. P. (2001). Hydrologic sensitivity of global rivers to climate change. *Clim Change*, 50(1–2), 143–175.

Nóbrega, M. T., Collischonn, W., Tucci, C. E. M., & Paz, A. R. (2011). Uncertainty in climate change impacts on water resources in the Río Grande Basin, Brazil. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(2), 585–595.

Oliveira, R. F. D., Zolin, C. A., Victoria, D. D. C., Lopes, T. R., Vendrusculo, L. G., & Paulino, J. (2019). Hydrological calibration and validation of the MGB-IPH model for water resource management in the upper Teles Pires River basin in the Amazon-Cerrado ecotone in Brazil. *Acta Amazonica*, 49, 54–63.

Paiva, R. C. D., Collischonn, W., & Schettini, E. B. C. (2011). Climate Change Impacts on Water Resources in the Quaraí River Basin. In: FUNG, C. F., Lopez, A., New, M. (Org.). *Modelling the Impact of Climate Change on Water Resources*. Willey-Blackwell, cap. 6.2, (p.12).

Paiva, R. C. D., Buarque, D. C., Collischonn, W., Bonnet, M. P., Frappart, F., Calmant, S., & Bulhões, C. A. (2013). Large-scale hydrologic and hydrodynamic modeling of the Amazon River basin. *Water Resour. Res.* 49, 1226–1243. <http://dx.doi.org/10.1002/wrcr.20067>

Siqueira, V. A., Collischonn, W., Fan, F. M., & Chou, S. C. (2016a). Ensemble flood forecasting based on operational forecasts of the regional ETA EPS in the Taquari-Antas basin. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos/ Braz. J. Water Res.* RBRH 21, 587–602. <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011616004>

Siqueira, V. A., Fleischmann, A., Jardim, P. F., Fan, F. M., & Collischonn, W. (2016b). IPH-Hydro Tools: a GIS coupled tool for watershed topology acquisition in an open-source environment. *RBRH*, 21(1), 274–287. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p274-287>

Sharma, S., Isik, S., Srivastava, P., & Kalin, L. (2012). Deriving spatially distributed precipitation data using the artificial neural network and multilinear regression models. *J. Hydrol. Eng.* 18, 194–205. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000617](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000617)

Shuttleworth, W. J. (1993). Evaporation, in: Maidment, D.R. (Ed.), *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill. (pp. 4.1–4.53).

Sorribas, M. V., Paiva, R. C. D., Melack, J., Bravo, J. M., Jones, C., Carvalho, L., Beighley, E., Forsberg, B., & Costa, M. H. (2016). Projections of climate change effects on discharge and inundation in the Amazon basin. *Climatic Change*, 136(3), 555–570.

Tavares, M. H., Munar, A. M., Cunha, A. H. F., Motta-Marques, D., Ruhoff, A. L., Cavalcanti, J. R., Fragoso, C. R., ... & Rodrigues, L. H. R. (2019). Comparison of Methods to Estimate Lake-Surface-Water Temperature Using Landsat 7 ETM+ and MODIS Imagery: Case Study of a Large Shallow Subtropical Lake in Southern Brazil. *Water*, 11(1), 168.

Tejadas, B. E., Bravo, J. M., Sanagiotto, D. G., Tassi, R. y Marques, D. M. L. M. (2016). Projeções de Vazão Afluente à Lagoa Mangueira com Base em Cenários de Mudanças Climáticas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31, 262-272.

Todini, E. (1996). The ARNO rainfall-runoff model. *J. Hydrol.* 175, 339–382. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(96\)80016-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(96)80016-3)

Wang, W., Wei, J., & Shao, Q. et al. (2015). Spatial and temporal variations in hydro-climatic variables and runoff in response to climate change in the Luanhe River basin, China. *Stoch Environ Res Risk Assess* 29(4):1117–1133. <http://dx.doi.org/10.1007/s00477-014-1003-3>

Zubieta, R., Getirana, A., Espinoza, J. C., & Lavado, W. (2015). Impacts of satellite-based precipitation datasets on rainfall-runoff modeling of the Western Amazon basin of Peru and Ecuador.

# 1.2 ESTUDIO COMPARATIVO DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS UTILIZADOS COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO MAGDALENA

---

Martha Cecilia Vinasco Guzmán<sup>5</sup>

Myrian Sofía Guzmán Oliveros<sup>6</sup>

Silvia Alejandra Trujillo Zapata<sup>7</sup>

Claudia Patricia Cortés Orozco<sup>8</sup>

Lina Paola Caicedo Bolaños<sup>9</sup>

Miguel Ángel Núñez Burgos<sup>10</sup>

---

5 Doctora en Desarrollo Sostenible. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente, CCAV Pitalito, Colombia. [marta.vinasco@unad.edu.co](mailto:marta.vinasco@unad.edu.co)

---

6 Magíster en Gestión Ambiental. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente, CCAV Pitalito, Colombia. [myrian.guzman@unad.edu.co](mailto:myrian.guzman@unad.edu.co)

---

7 Magíster en Sistemas Integrados de Gestión de la calidad ambiental, responsabilidad social y PRL. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente, CCAV Pitalito, Colombia. [silvia.trujillo@unad.edu.co](mailto:silvia.trujillo@unad.edu.co)

---

8 Ingeniera Ambiental, Magíster en Sistemas Integrados de Gestión, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Bogotá, Colombia. [claudia.cortes@unad.edu.co](mailto:claudia.cortes@unad.edu.co)

---

9 Estudiante Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Pitalito, Colombia. [lpcaicedo@unadvirtual.edu.co](mailto:lpcaicedo@unadvirtual.edu.co)

---

10 Estudiante Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Pitalito, Colombia. [maburgos@unadvirtual.edu.co](mailto:maburgos@unadvirtual.edu.co)

## RESUMEN

---

Los macroinvertebrados bentónicos se encuentran en ecosistemas acuáticos en todo el mundo y han sido utilizados como indicadores de la calidad de agua, empleando su presencia o ausencia para calcular indicadores como el BMWP (*Biological Monitoring Working Party*), método de amplia difusión en nuestro país. En el departamento del Huila, que se ubica en la parte alta de la cuenca del río Magdalena, se han hecho varias investigaciones en este tema, determinándose la necesidad de contrastar los resultados obtenidos en las diferentes fuentes hídricas, que aporten en el conocimiento de las condiciones de la calidad de agua. El propósito de esta investigación es hacer un trabajo de revisión de los resultados obtenidos por investigaciones con macroinvertebrados bentónicos con la utilización del índice BMWP/Col, que permitan tener una perspectiva de la calidad de agua de ríos y quebradas. La recolección de información se hizo a partir de una búsqueda de palabras en español e inglés en bases de datos como *Google Scholar*, *Scopus*, *Science Direct* y el repositorio de trabajos de grado de la UNAD. La presencia y alta frecuencia de órdenes de insectos como *Plecoptera*, que presenta tolerancia media a la contaminación y *Ephemeroptera* que es indicador de una mayor tolerancia a la contaminación, evidencia que las aguas están medianamente contaminadas. Dentro de las familias más abundantes en los reportes está la *Hydropsychidae* y *Baetidae* (BMWP/Col 7), seguida de la *Perlidae* (BMWP/Col 10), positivas en la calidad del agua y alta abundancia de familias que evidencian contaminación como *Chironomidae* (BMWP/Col 2) reportada en la parte alta del río Guarapas y en el río Magdalena y *Tubificidae* y *Tipulidae* (BMWP/Col 1) en el río Guachicos, río Magdalena, quebrada La Cascajosa y la Reserva Meremberg. Se encontraron dificultades con la interpretación del índice BMWP/Col en las investigaciones que tienen continuidad en el tiempo, por lo que es necesario contrastar los resultados con otros índices como el ASPT (*Average Score Per Taxon*). Este tipo de estudios permiten mejorar la toma decisiones y la gestión integrada del recurso hídrico.

**Palabras clave:** bioindicación, BMWP/Col, calidad de agua, contaminación, ecosistema acuático.

## ABSTRACT

---

Benthic macroinvertebrates are found in aquatic ecosystems throughout the world and have been used as water quality indicators, using their presence or absence to calculate indicators such as the BMWP index (Biological Monitoring Working Party), a method widely used in Colombia. In the department of Huila, which is located in the upper part of the Magdalena River Basin, several investigations have been carried out determining the need to contrast the results obtained for different water supply. The objective of this study is to review the results obtained by research with benthic macroinvertebrates with the use of the BMWP/Col index, which allow a perspective of the water quality of rivers and streams. The information was collected from a search for words in Spanish and English in databases such as Google Scholar, Scopus, Science Direct, and the UNAD repository. The presence and high frequency of orders of insects such as Plecoptera, which has a medium tolerance to contamination and Ephemeroptera, which is an indicator of a greater tolerance to contamination, shows that the water bodies are moderately contaminated. Among the most abundant families in the reports are the Hydropsychidae and Baetidae (BMWP/Col7), followed by the Perlidae (BMWP/Col 10), positive in water quality and high abundance of families that show contamination such as Chironomidae (BMWP/Col 2) reported in the upper Guarapas River and in the Magdalena River, Tubificidae and Tipulidae (BMWP/Col1) in the Guachicos River, Magdalena river, La Cascajosa Stream and the Meremberg Reserve. Difficulties were found with the interpretation of the BMWP/Col index in the investigations that have continuity over time, so it is necessary to contrast the results with other indices such as the ASPT (Average Score Per Taxon). This study allows better decision-making and integrated management of water resources.

**Keywords:** Bioindication, BMWP/Col, water quality, pollution, aquatic ecosystem.

# INTRODUCCIÓN

---

En los sistemas lóticos se encuentran organismos agrupados en comunidades, que hacen parte de redes tróficas de productores y consumidores, y organismos que intervienen en los procesos de descomposición (microbiota bacteriana, hongos, algunos macroinvertebrados, entre otros).

Los bioindicadores de calidad de agua dependen de las condiciones del sitio y los macroinvertebrados se consideran los mejores indicadores por ser abundantes, fáciles de recolectar, sedentarios y reflejan las condiciones locales. Además, son fáciles de identificar, presentan las variaciones ambientales en corto tiempo y proporcionan información de efectos acumulativos respondiendo rápidamente a los cambios medioambientales (Roldán, 2016).

Los macroinvertebrados son animales relativamente grandes, visibles al ojo humano, constituidos principalmente de artrópodos, como crustáceos, arácnidos, oligoquetos, hirudineas y moluscos e insectos que son los más abundantes y que cuentan con mayor número de taxones. Su presencia se asocia a fuentes de agua rocosas y fangosas, además de plantas acuáticas y aguas superficiales (Roldán y Ramírez, 2008). Estas comunidades de macroinvertebrados se ven afectadas por los cambios físicos y químicos en la calidad del agua o en las dinámicas hidrológicas lo que favorece su utilización como bioindicadores de la calidad del agua, dado que son abundantes, fáciles de recolectar y tienen una taxonomía fácil de identificar (Villalobos-Moreno y Salazar, 2020).

Uno de los métodos más utilizados en Colombia para determinar la calidad de agua es la utilización de los macroinvertebrados como bioindicadores, valorando dicha calidad con la utilización del método BMWP, que fue adaptado por Roldán en los años 90 para Colombia, creando el BMWP/Col. Este método utiliza la presencia y ausencia de los taxones, asignándoles una puntuación de 1 a 10, donde 10 son las familias menos tolerantes a la contaminación y a su vez indicadores de aguas limpias y 1 es el puntaje de las familias más tolerantes a la contaminación, que indican aguas con altos contenidos de polución y el resultado del índice corresponde a la suma de las puntuaciones de las familias encontradas (Roldán, 2016).

Este análisis se basa en sistemas de evaluación que determina el nivel de órdenes, familias y a veces géneros, para realizar evaluaciones rápidas del ecosistema, siendo un método efectivo, de bajo costo y tiempo, y que puede ser utilizado por personas

entrenadas, pero que no necesariamente tengan una alta experticia en la biología de estas poblaciones (Posada-García y Roldán-Pérez, 2003).

Roldán (2009), indica que el trabajo con macroinvertebrados en Colombia empieza en la Universidad de Antioquia en los años 70, siendo esta la base para el desarrollo de la bioindicación en la calidad de agua y del trabajo con el índice BMWP, que fue adaptado a las condiciones de nuestro país hasta desarrollar el BMWP/Col.

Medina Nieto (2016), quien hace una revisión del estado actual de la limnología en Colombia a partir de una amplia revisión de las investigaciones realizadas a partir del año 2000 en el tema, y en este se reportan biomonitoreos en el río Magdalena y sus afluentes, pero utilizando como indicadores la presencia y ausencia de peces, dado que las investigaciones encontradas hasta el momento son escasas en la cuenca del río.

Igualmente, se destaca el realizado por Gualdrón Durán (2016), denominado: “Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros fisicoquímicos y biológicos”, que se hizo a partir de una revisión bibliográfica sobre información reciente referente a la calidad de agua de los ríos. En sus resultados se contrastó la existencia de macroinvertebrados acuáticos relacionados con la disponibilidad de oxígeno, profundidad, pH, alcalinidad y los contaminantes de tipo industrial y se encontró que los vertimientos de aguas residuales, muy comunes en la mayoría de las fuentes de agua afectan su calidad. Igualmente, que el BMWP/Col indica aguas ligeramente contaminadas y que algunas de las variables fisicoquímicas y biológicas presentaron valores superiores a los permitidos.

Dentro de los estudios recientes en el río Magdalena se tienen los de Forero et al. (2013), que evaluó la calidad de agua con métodos fisicoquímicos y biológicos como el BMWP/Col en el río Opia en el Tolima, que es tributario del río Magdalena, registrando una calidad de agua regular, evidenciando perturbación en los ecosistemas y afectación en su calidad ecológica y el de Galeano-Rendón et al. (2017), realizado en la cuenca del río Magdalena en los ríos Nare y Guatapé en Antioquia, que determina que los sitios estudiados tienen una alta afectación antrópica, con bajos valores del índice BMWP/Col, lo que indica una baja calidad ecológica.

Los métodos utilizados para la obtención de los macroinvertebrados acuáticos corresponden a los presentados por Roldán (2016), con la utilización de redes (red surber y red de patada), estableciendo sitios de muestreo donde se hacen réplicas cada 30 metros, en corrientes de poca profundidad, removiendo el suelo de la fuente de agua para lograr que se suelten los especímenes que reposan en hojas, piedras, fango y otro tipo de material vegetal, que se recoge en la red, luego de lo cual se sacan los macroin-



vertebrados y se disponen en frascos con alcohol antiséptico y formol, debidamente etiquetados. El análisis taxonómico se hace en el laboratorio, utilizando un estereoscopio, registrando la abundancia por el orden y la familia, y en algunos casos donde se tiene suficiente experticia, se llega hasta la especie, lo que se registra en las hojas de datos (Posada y Roldán, 2003).

La información obtenida de las especies de macroinvertebrados presentes en las corrientes de agua, puede evidenciar el impacto potencial de las acciones antrópicas en el medio ambiente y la amenaza que estas representan para el ambiente sino para la calidad de vida de las comunidades en las zonas urbanas y rurales. Sin embargo, una limitante para la realización de estudios comparativos de análisis de la calidad de agua, ya que en algunos casos no hay suficiente información acerca de la presencia o ausencia de las familias para contrastar los resultados entre las diferentes investigaciones y las inconsistencias presentadas al contrastar el índice BMWP/Col con los resultados de otros índices como el *Average Score Per Taxon ASPT*, calculado en tres de las investigaciones consultadas.

El puntaje promedio por taxón conocido como ASPT, es un índice de calidad de agua que se calcula dividiendo el puntaje total BMWP por el número de los taxones calificados en la muestra, expresando el promedio del indicador de calidad de agua. Los valores van de 0 a 10, donde valores cercanos a cero indican graves condiciones de contaminación (Instituto Humboldt, 2005).

A continuación, se presenta el código de colores utilizado para los índices BMWP/Col y ASTP (Tabla 1).

**Tabla 1.** Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo con el índice BMWP/Col y STP (Posada & Roldán, 2003)

Clase	Calidad	Valor del BMWP	Valor del ASTP	Significado	Color
I	Buena	>150	>9-10	Aguas muy limpias	Azul
		101-120	>8-9	Agua no contaminada	
II	Aceptable	61-100	>6.5-8	Ligeramente contaminadas, se evidencian efectos de contaminación	Verde
III	Dudosa	36-60	>4.5-6.5	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	16-35	>3-4.5	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy crítica	< 15	1-3	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica	Rojo

La presente investigación, enmarcada en el estudio de los impactos del cambio climático en la dinámica hidrológica y la calidad del agua en la cuenca alta del río Magdalena, haciendo una revisión de los estudios realizados en el departamento del Huila a partir del recuento de macroinvertebrados bentónicos, recopilando ocho estudios realizados a partir del 2014 en todas las regiones del departamento y analizando los resultados del cálculo del índice BMWP/Col.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Con el fin de recopilar la información sobre la presencia de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca alta del río Magdalena, se llevó a cabo una búsqueda de literatura científica revisada por pares académicos, literatura gris, trabajos de grado e informes de investigación publicados.

La búsqueda de información utilizó buscadores generales como *Google Scholar* y bases de datos como *Scopus* y *Science Direct*, en un rango temporal de 2010 a 2021, en español y en inglés. Los términos de búsqueda fueron: bioindicadores acuáticos and Huila, macroinvertebrados acuáticos and Huila, calidad de agua and Huila, BMWP/Col and Huila y monitoreo de macroinvertebrados bentónicos and Huila.

Para hacer el análisis de la investigación se elaboraron cuadros comparativos con el resumen de los resultados de las investigaciones, mostrando los órdenes y las familias más representativas que se encontraron y los datos del cálculo de los índices BMWP/Col y ASTP. Los hallazgos sintetizan los resultados obtenidos de la información publicada en las temáticas relacionadas con monitoreo de macroinvertebrados acuáticos en el Huila.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez realizada la búsqueda de información sobre la presencia de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca alta del río Magdalena, se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 2): una base de datos de una investigación en la parte alta del río Guarapas (Romo y Aroca, 2020); un libro que indagó en la calidad de agua en 18 fuentes hídricas en Pitalito (Peña y Cortes, 2015); dos artículos de calidad de agua en quebradas de Garzón (Moreno et al., 2015; Portilla, 2015); un artículo de monitoreo a la Central Hidroeléctrica de El Quimbo (Valbuena y Gualtero, 2021); una tesis de maestría en dos quebradas del municipio de Isnos (Cuellar, 2016); un informe sobre macroinvertebrados en la Reserva Meremberg en La Plata (Betancourt et al., 2016); un capítulo de libro sobre el río Guachicos y cuatro afluentes (Vinasco et al., 2021) y un trabajo de grado sobre una quebrada en La Plata (Pérez, 2019).

**Tabla 2.** Información general de los resultados encontrados respecto a macroinvertebrados bentónicos en el departamento del Huila

Tipo de resultado	Nombre de la fuente	Autores	Datación	Institución
Base de datos	Macroinvertebrados del área Serranía de los Churumbelos Auka Wasi asociados a la calidad del agua (río Guarapas en las veredas La Mensura, Montelibano, Jericó, Villas del Macizo y Montañitas en el municipio de Palestina).	Romo Guerrón, M. I. y Aroca Vargas, L.	2015- 2016	Parques Nacionales Naturales de Colombia
Capítulo de libro	Características de calidad y cantidad en 18 fuentes hídricas del área rural (Pitalito).	Peña M. A. y Cortés D. M.	2015	Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano SENA

Tipo de resultado	Nombre de la fuente	Autores	Datación	Institución
Artículo	Evaluación de la calidad del agua en el canal La Ovejera Campoalegre Huila, empleando bioindicadores acuáticos (afluente y efluente del canal La Ovejera).	Moreno, Y. M. Trujillo M., F. A.	2015	Centro de Formación Agroindustrial la Angostura SENA
Artículo	Aquatic macroinvertebrates (animalia: invertebrata) of the area of influence of El Quimbo Hydroelectric Station, Huila, Colombia.	Valbuena-Villareal, R. D., & Gualtero-Leal, D. M.	2021	USCO & ENEL EMGESA
Artículo	Distribución espacial y temporal de macroinvertebrados acuáticos en la quebrada La Cascajosa - Garzón (Huila).	Portilla Arcos, N. K.	2015	USCO
Trabajo de grado de maestría	Variaciones espaciales en las comunidades de macroinvertebrados acuáticos de las quebradas Helechuzal y Banderas en dos épocas con diferente régimen climático en el municipio de Isnos departamento del Huila.	Cuellar Torres, B. M.	2016	Universidad de Manizales
Informe	Informe del estudio de macroinvertebrados en la Reserva Meremberg (La Plata).	Betancourth J. S., Cardoso, H., Castrillón, J., Rodríguez, M. L. y García, N. M.	2016	USCO
Trabajo de grado	Informe sobre la evaluación de la calidad del agua de la quebrada Zapatero del municipio de La Plata Huila, mediante la aplicación de los métodos BMWP/Col y ASPT correlacionados con parámetros fisicoquímicos.	Pérez Losada, A. D.	2019	UNAD
Capítulo de libro	Evaluación de la calidad del agua del río Guachicos y sus cinco principales afluentes en Pitalito (Colombia), utilizando los índices de contaminación ICOS y el índice BMWP/Col en gestión ambiental y desarrollo agropecuario sostenible.	Vinasco, M. C., Guzmán, M. S., Trujillo, S. A., Sánchez, M., García, D. P., Villarreal, D. S., Martínez, J. A., Chavarro, J. A., Cruz, C. A., Ortega, J. A., Moreno, L. A. y Lasso, D. J.	2018 - 2020	UNAD

**Nota.** La investigación.



Vale la pena señalar que existe sesgo en algunas de las investigaciones, debido a la falta de profundidad de algunos reportes acerca de las familias encontradas, además de que las investigaciones reseñan una gran cantidad de información acerca de los especímenes analizados.

## ABUNDANCIA

A continuación, se presentan los resultados de la presencia de los macroinvertebrados más representativos en cada una de las fuentes hídricas analizadas.

**Tabla 3.** Fuentes hídricas y familias de macroinvertebrados bentónicos más representativas

Nombre de la fuente	Familias más representativas
Río Guarapas en las veredas La Mensura, Montelibano, Jericó, Villas del Macizo y Montañitas en el municipio de Palestina.	Se encontró un total de 1 674 registros, de los cuales 1 208 fueron determinados hasta el nivel de familia y 466 hasta género. Se encontraron las familias Elmidae 13 %, Leptoceridae 11 %, Leptohyphidae 7 %, Chironomidae 6 %, Baetidae 5 %, Hydropsychidae 5 %.
18 Fuentes hídricas del área rural (Pitalito).	12 órdenes (en abundancia Trichoptera, Odonata y Ephemeroptera) y 32 familias siendo la más abundante Hydropsychidae.
Canal La Ovejera Campoalegre Huila (afluente y efluente del canal La Ovejera).	562 individuos colectados, de nueve órdenes, 20 familias y 17 géneros, de los órdenes Plecoptera, Trichoptera y Ephemeroptera. Las familias más abundantes fueron la Leptophlebiidae, Baetidae, Hydropsychidae y Hydropsychidae.
El Quimbo Hidroeléctrica estación, río Magdalena.	Se recolectaron 36 490 individuos, de 11 clases, 26 órdenes y 79 familias. El orden Díptera tuvo el 33.35 % con 13 familias; Ephemeroptera con el 15.81 % con 20 familias; Hemiptera con el 11.5 % y nueve familias y Trichoptera con 6.21 % y siete familias, representando el 62.03 % del total. Se distinguen las familias Simuliidae y Baetidae de aguas limpias y Tipulidae y Chironomidae que están en aguas muy contaminadas.
Quebrada La Cascajosa – Garzón.	Se colectaron 891 individuos pertenecientes a cinco clases, 13 órdenes, 29 familias, 33 géneros. En cuanto a número de individuos, el orden Díptera fue el más representativo con 212, seguido de Ephemeroptera con 178, Trichoptera y Coleoptera con 158 y 115 individuos respectivamente. Las taxas más abundantes son la Leptohyphidae, Hydropsychidae, Simuliidae y Physicidae. Con presencia limitada Calopterygidae, Planariidae y Trichodactylidae y en menor grado Staphylinidae, Hydrobiosidae y Scolopendromorpha.

Nombre de la fuente	Familias más representativas
Quebradas Helechuzal y Banderas – Isnos.	Durante los cuatro muestreos se colectaron 875 individuos distribuidos en 11 órdenes y 20 familias; la mayor abundancia estuvo representada por las familias Hydropsychidae, Ptylodactylidae, Corydalidae, Perlidae, Trichodactylidae y Polythoridae.
Reserva Meremberg (La Plata) - la quebrada Agua Bonita y la cascada La Candelaria.	Hay presencia de las familias Hydropsychidae, Trichodactylidae, Hydroscaphidae, Elmidae, Baetidae, Annelidae y Tipulidae.
Quebrada Zapatero - La Plata.	Se recolectaron en total 4 000 macroinvertebrados distribuidos en cuatro Phylum, seis clases, 13 órdenes, 27 familias y 34 géneros. Las familias más abundantes fueron Hydropsychidae (38.7 %), Oligoneuriidae (11.6 %), Leptohyphidae (9.9 %), Perlidae (5.0 %), Leptoceridae (4.3 %), Chironomidae (3.4 %), Corydalidae (3.4 %) y Hydrobiosidae (3.3 %).
Río Guachicos –Pitalito.	En el río Guachicos se encontraron 11 órdenes, 33 familias y 2877 especímenes, siendo las más abundantes la Hydropsychidae (45.8 %), Perlidae (13.7 %), Leptophlebiidae (12.2 %), Tricorythidae (6.0 %), Elmidae (4.8 %) y Baetidae (3.5 %). Igualmente se presentaron Corydalidae, Gomphidae, Libellulidae, Tubificidae, Leptohyphidae y Oligoneuriidae.

**Nota.** La investigación.

El cálculo del índice BMWP/Col asigna valores de acuerdo con la tolerancia a la contaminación por las familias presentes, cuyos valores van entre 10 para las menos tolerantes, que indican buena calidad de agua y 1 las más tolerantes, que evidencian alta contaminación. Estos valores por familia se suman para calcular el índice y dependiendo de sus resultados, se da una apreciación de la calidad de agua de la fuente estudiada (Roldán y Ramírez, 2008).

Dentro de las familias reportadas como las más abundantes encontradas en el Hui-la se encuentra la *Hydropsychidae* que corresponde a un índice BMWP/Col de 7, está presente en las ocho fuentes analizadas, siendo la más abundante en las quebradas del Helechuzal y Banderas en Isnos, en el río Guachicos y sus afluentes, quebrada Zapatero en La Plata y en Garzón en la Cascajosa. Esta pertenece al orden *Trichoptera* que habita cauces limpios de agua, oxigenados, fluidos, siendo muy sensibles a la degradación de los hábitats y se reporta como una de las de mayor distribución y diversidad en Colombia (Posada y Roldán, 2003), su presencia es importante porque consumen algas y materia orgánica en descomposición, especialmente la *Hydropsychidae*, además de constituirse en alimento y a su vez, ser depredadores para otras especies (Springer, 2010).

Otra familia que tiene alta presencia en cinco de las fuentes analizadas es la *Baetidae*, con un índice BPWP de 7, que corresponde al orden *Ephemeroptera* y que igualmente es indicador de buena calidad de agua, pues su hábitat corresponde a aguas limpias y con buen nivel de oxígeno, teniendo alta sensibilidad a los procesos de degradación del agua por impactos antropogénicos (Forero et al., 2016). La familia *Baetidae* se reporta como abundante en la quebrada Helechuzal en Isnos y es de las más abundantes en el río Magdalena, en la Represa del Quimbo y en el río Guachicos.

La familia *Perlidae*, del orden *Plecoptera* y con un indicador BMWP de 10, solo se presenta en algunos puntos de los ríos Guachicos y en Isnos de manera representativa y con unos pocos individuos en el río Magdalena en la represa del Quimbo, centro del Huila y en la parte alta del río Guarapas, al sur. Esta familia es considerada como una de las de mayor sensibilidad a la degradación del hábitat, a la presencia de carga orgánica residual y a la baja disponibilidad de oxígeno disuelto (Roldán, 2016).

Igualmente, se encuentra la familia *Elmidae*, perteneciente al orden *Coleoptera*, con índice BMWP de 6 en todas las fuentes analizadas, aunque solo en cuatro de ellas se reporta su abundancia. Esta familia es sensible a los cambios físicos y químicos en ambientes acuáticos y a las actividades antrópicas, como la agricultura y la contaminación doméstica e industrial (Hincapie Montoya, 2017).

Se encontraron familias indicadoras de alta contaminación de acuerdo con Roldán (2016), como la *Chironomidae* (BMWP/Col 2) se encontraron en la parte alta del río Guarapas en Pitalito y en el río Magdalena y *Tubificidae* (BMWP/Col 1) y *Tipulidae* (BMWP/Col 1), en el río Guachicos en Pitalito, río Magdalena en el centro del Huila, quebrada La Cascajosa en Garzón y la Reserva Meremberg en La Plata.

Tomando en consideración la presencia y alta tasa de frecuencia de macroinvertebrados en tres órdenes de insectos: *Ephemeroptera* (indicador de una mayor tolerancia a la contaminación), *Plecoptera* (tolerancia media) y *Trichoptera* (que no tolera la contaminación y solo existe en aguas limpias), se puede determinar que las aguas en el Huila están medianamente contaminadas.

En la siguiente tabla se observa que de las fuentes registradas en el departamento del Huila y de manera general, tanto para la fuente de Campoalegre y las de Garzón, las condiciones del agua según el índice BMWP/Col están entre muy limpias y ligeramente contaminadas (Tabla 4). Sin embargo, hay que tener en cuenta que en los múltiples datos de la estación El Quimbo en Garzón, se adiciona un índice de calidad de agua como lo es el ASPT o *Average Score Per Taxon*, que es más bien un puntaje promedio que se obtiene al dividir el valor obtenido en el método BMWP/Col por el número de



familias de macroinvertebrados encontrados en cada zona, tiene valores de 1 a 10, donde los valores más altos corresponden a aguas de buena calidad y demuestra que no necesariamente coinciden los datos encontrados entre estos dos indicadores (Valbuena-Villareal y Gualtero-Leal, 2021).

**Tabla 4.** Comparación de indicadores BMWP/Col en diferentes fuentes de los municipios de Campoalegre y Garzón del departamento del Huila

Fuente hídrica	Canal La Ovejera Campoalegre Huila		El Quimbo Estación hidroeléctrica Huila, Colombia (mínimo)	Quebrada La Cascajosa - Garzón (Huila)	
	Afluyente del canal La Ovejera	Efluente del canal La Ovejera		Estación 1	Otras Estaciones (mínimo)
BMWP	135	84	192	104	65
Clasificación	I	II	I	I	II
Calidad	Buena	Aceptable	Buena	Buena	Aceptable
Significado	Muy limpia	Ligeramente contaminada	Muy limpia	Muy limpia	Ligeramente contaminada
Color					
ASPT	135/20=6.75	84/20=4.2	6.19	104/29=3.58	
Clasificación			III		
Calidad			Dudosa		
Significado			Moderadamente contaminada		
Color					

Para el caso particular de inconsistencias en los resultados de un punto en el embalse del Quimbo (ver Tabla 4), que presenta los valores más bajos en índice BMWP/Col con un valor de 192, que indica la calidad de agua de buena calidad y muy limpia, a contraposición de los valores en el mismo punto, pero para el indicador ASTP con un valor de 6.19, evidencian que la calidad del agua es dudosa y moderadamente contaminada, por lo que los indicadores no coinciden.

De acuerdo con Cárdenas et al. (2018), la presencia de alta diversidad de macroinvertebrados con tolerancia a la contaminación moderada y alta, indica una mala calidad de agua. En este caso, como se presenta en la investigación realizada en la Hidroeléctrica de El Quimbo, hay una gran presencia de familias que aumentan el valor del índice BMWP, pero que al ser calculado el índice ASTP.

Aunque un indicador biológico guarda información de su ecosistema por largo tiempo, ya que permite mostrar que por su presencia o ausencia en un sitio determinado e identifica las condiciones en las que se encuentra su hábitat (Roldán, 2009), a veces se presentan inconsistencias en los análisis (como sucedió en este caso puntual). Las diferencias pueden ser debidas a que los datos fueron recolectados en un largo periodo de tiempo y que en el esfuerzo por recoger especímenes se encontró una gran cantidad de taxones, lo que incide directamente en la alta valoración del índice BMWP/Col y que se puede contrastar con otros indicadores, este caso el ASPT, que considera como divisor la cantidad de familias encontradas, presentándose inconsistencias en la medición de la calidad de agua, como la descrita en dicha investigación.

Además, como lo indica Roldán (2016), “se requiere definir una metodología unificada para el estudio de los ecosistemas lénticos y los grandes ríos” (p. 10).

A continuación, se presenta un cuadro comparativo entre las fuentes de la Plata y Pitalito, construido a partir de la revisión de los resultados encontrados en las investigaciones estudiadas para la construcción del artículo, donde se aprecia que las condiciones del agua según el índice BMWP/Col están entre calidad dudosa, ligeramente contaminada y aguas muy contaminadas.

**Tabla 5.** Comparación de indicadores BMWP/Col en diferentes fuentes de los municipios de La Plata y Pitalito del departamento del Huila

Fuente hídrica	Quebrada Zapatero - La Plata (mínimo)			Río Guachicos - Pitalito		
	Parte alta	Parte media	Parte baja	Parte alta	Parte media	Parte baja
BMWP	95	84	57	97	65	20
Clasificación	II	II	III	II	II	IV
Calidad	Aceptable	Aceptable	Dudosa	Aceptable	Aceptable	Crítica
Significado	Ligeramente contaminada	Ligeramente contaminada	Aguas moderadamente contaminadas	Ligeramente contaminada	Ligeramente contaminada	Aguas muy contaminadas
Color						

En la información anterior, al comparar las fuentes quebrada Zapatero del municipio de la Plata y río Guachicos del municipio de Pitalito, las condiciones del agua según el índice BMWP/Col tanto en la parte alta y media de las fuentes hídricas evidencian cali-

dad aceptable, es decir ligeramente contaminadas; sin embargo, en las partes bajas la calidad del agua disminuye hasta considerarse la calidad del agua dudosa o crítica, es decir aguas moderadamente contaminadas o aguas muy contaminadas.

Según los datos de las diferentes investigaciones, especialmente en las del río Guachicos y sus afluentes, se presentan actividades antrópicas de comunidades que habitan cerca las rondas hídricas, generando vertimientos de aguas residuales domésticas, aguas residuales industriales (especialmente de la actividad de beneficio cafetero), inadecuada disposición de residuos sólidos y utilización de insumos agrícolas que por escorrentía van a depositarse en los ríos y quebradas (CAM, 2014; Vinasco et al., 2021).

Claramente esto se ve reflejado en los bioindicadores, como lo indica igualmente Rodríguez et al. (2016), donde indica que, en diversas investigaciones, la acción antrópica a lo largo de las fuentes de agua incide directamente en su calidad.

En los casos analizados para el departamento del Huila, a medida que las fuentes hídricas hacen su recorrido se van encontrando menor cantidad de especímenes y disminuye la diversidad de familias de macroinvertebrados, además de que los valores reportados corresponden a especies indicadoras de contaminación grave (con BMWP de 1 a 4) y esta situación puede extrapolarse a las otras fuentes hídricas analizadas.

## CONCLUSIONES

---

Los resultados obtenidos al revisar la información de macroinvertebrados bentónicos y el índice BMWP/Col en diversas fuentes hídricas del departamento del Huila, indican una presencia de aguas moderadamente contaminadas en todas las fuentes que se tornan altamente contaminadas a medida que se avanza en el cauce, como se reporta en las investigaciones realizadas en Colombia y revisadas para la construcción del presente artículo.

De acuerdo a los bioindicadores obtenidos en la cuenca alta del río Magdalena en el departamento del Huila, presentan datos indicadores de calidad de agua buena y aceptable en las partes altas (nacimiento y curso alto) y calidad ligeramente contaminada en el curso medio de las fuentes hídricas, como se puede evidenciar en el canal La Ovejera (Campoalegre), quebrada La Cascajosa, el río Magdalena a la altura del embalse del Quimbo (Garzón), quebrada El Zapatero (de La Plata) y finalmente el río Guachicos (Pitalito).

Dentro de las familias más abundantes en los reportes está la *Hydropsychidae* y *Baetidae* (BMWP/Col 7), seguida de la *Perlidae* (BMWP/Col 10), positivas en la calidad del agua. Sin embargo, también se reporta alta abundancia de familias que evidencian contaminación como *Chironomidae* (BMWP/Col de 2) reportada en la parte alta del río Guarapas y en el río Magdalena y *Tubificidae* y *Tipulidae* (BMWP/Col 1), que indican que los hábitats están sometidos a contaminación antrópica que puede deteriorar aún más la calidad de agua de consumo humano y la dedicada a actividades como la agricultura o la acuicultura.

Tomando en consideración la presencia, la alta tasa de frecuencia de macroinvertebrados en tres órdenes de insectos y el bajo número de especies: *Ephemeroptera* (indicador de una mayor tolerancia a la contaminación), *Plecoptera* (tolerancia media) y *Trichoptera* (que no tolera la contaminación y solo existe en aguas limpias), se puede determinar que las corrientes de agua que han sido monitoreadas con el método BMWP en el Huila están medianamente contaminadas.

Sin embargo, para estudios que tienen un horizonte de tiempo de varios años, como son los de la represa de El Quimbo y del río Guachicos realizado en la UNAD CCAV Pitalito, se pueden presentar inconsistencias entre los resultados del BMWP/Col y el indicador *Average Score Per Taxon ASTP* y se propone corroborar la información ofrecida por estos bioindicadores con otros como el Índice Biótico de Familias (IBF), el EPT (*Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera*) o el índice Biótico Andino (ABI), (Andean Biotic Index), que no fueron calculados en las investigaciones encontradas.

La utilización del indicador *Biological Monitoring Working Party* BMWP/Col es relevante para revisar la calidad de agua de las fuentes hídricas, por la facilidad de recolección de los macroinvertebrados acuáticos, su bajo costo y los métodos de identificación de las familias de macroinvertebrados que no requieren grandes conocimientos biológicos.

Se recomienda para próximos estudios de calidad de agua utilizando el indicador BMWP/Col, que los datos sean recopilados en bases de datos de disposición gratuita en internet, para que estos puedan ser aprovechados para hacer análisis a mayor profundidad y permitir el cálculo de otros índices que hagan más certero el análisis.

## REFERENCIAS

---

Arslan, N., Salur, A., Kalyoncu, H., Mercan, D., Barişik, B., & Odabaşı, D. (2016). The use of BMWP and ASPT indices for evaluation of water quality according to macroinvertebrates in Küçük Menderes River (Turkey). *Biologia*, 71(1), 49-57. <https://doi.org/10.1515/biolog-2016-0005>

Betancourth, J. S., Cardoso, P. H., Castrillón, A. J., Rodríguez, C. M. y García, H. N. (2016). *Informe del estudio de macroinvertebrados en la Reserva Meremberg (La Plata)*. USCO

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena [CAM]. (2014). Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica del río Guarapas. <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/22589>

Cuellar, T. B. (2016). *Variaciones espaciales en las comunidades de macroinvertebrados acuáticos de las quebradas Helechuzal y Banderas en dos épocas con diferente régimen climático en el municipio de Isnos departamento del Huila* [Tesis de maestría, Universidad de Manizales]. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/2474>

Espinosa, R. A., Molina, B. G. y Díaz, C. L. (2020). Salud ambiental del río Ranchería a través de macroinvertebrados acuáticos en el área de influencia del complejo carbonífero el Cerrejón. *Tecnura*, 24(65), 49–63. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.14483/22487638.15773>

Forero-Céspedes, A. M., Reinoso-Flórez, G. y Gutiérrez, C. (2013). Evaluación de la calidad del agua del río Opia (Tolima-Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. *Caldasia*, 35(2), 371-387.

Forero-Céspedes, A. M., Gutiérrez, C. y Reinoso-Flórez, G. (2016). Composición y estructura de la familia Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) en una cuenca andina colombiana. *Hidrobiológica*, 26(3), 459-474. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-88972016000300459&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972016000300459&lng=es&tlng=es)

Galeano-Rendón, E. y Mancera-Rodríguez, N. J. (2018). Efectos de la deforestación sobre la diversidad y la estructura del ensamblaje de macroinvertebrados en cuatro quebradas andinas en Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1721-1740. <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i4.31397>

Galeano-Rendón, E., Monsalve-Cortes, L. M., & Mancera-Rodríguez, N. J. (2017). Evaluation of the Ecological Quality Of Andean Creeks In The Magdalena River Basin, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 20(2), 413-24.

Gualdrón, D. L. (2016). Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros fisicoquímicos y biológicos. *Dinámica ambiental*, (1), 83-102.

Hincapié-Montoya, D. (2017). *Elmidae (Coleoptera)* o escarabajos de aguas rápidas. Una actualización para Colombia, 9(3).

Lasso, M. D. y Moreno, S. L. (2019). *Monitoreo de macroinvertebrados en el río Guachicos, usándolos como bioindicadores para determinar la calidad del agua*. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/28041>

Martínez, L. J. y Quiroz, C. Y. (2019). *Caracterización de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua en la quebrada El Cedro del municipio de Pitalito*. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/25259>

Medina, N. D. (2016). *Estado actual de la limnología en Colombia*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Meneses-Campo, Y., Castro-Rebolledo, M. I. y Jaramillo-Londoño, A. M. (2019). Comparación de la calidad del agua en dos ríos altoandinos mediante el uso de los índices BMWP/Col y ABI. *Revista Acta Biológica Colombiana*, 24(2), 299-311. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-548X2019000200299&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2019000200299&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Moreno, Y. D., Trujillo M., F. A. y Murcia, T. V. (2015). Evaluación de la calidad del agua en el canal La Ovejera Campoalegre - Huila, empleando bioindicadores acuáticos. *Revista Agropecuaria y Agroindustrial la Angostura*, 2(2), 23-28. <http://revistas.sena.edu.co/index.php/raaa/article/view/197>

Moya, N., Gibon, F. M., Oberdorff, T., Rosales, C., y Domínguez, E. (2009). Comparación de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos intermitentes y permanentes del altiplano boliviano: implicaciones para el futuro cambio climático. *Ecología Aplicada*, 8(1-2), 105-114. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-548X2019000200299&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2019000200299&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Peña, M. A. y Cortés D. M. (2015). Características de Calidad y Cantidad en 18 Fuentes Hídricas del Área Rural. En J. Sánchez y G. Acosta (Eds.), *Pitalito Atlas Ambiental y de la Biodiversidad* (pp. 77-79). Alcaldía Municipal de Pitalito.

Pérez, L. A. (2019). *Informe sobre la evaluación de la calidad del agua de la quebrada Zapatero del municipio de La Plata Huila, mediante la aplicación de los métodos BMWP/Col y ASPT correlacionados con parámetros fisicoquímicos*. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/28229>

Portilla, A. N. (2015). Distribución espacial y temporal de macroinvertebrados acuáticos en la quebrada La Cascajosa - Garzón (Huila). *Entornos*, 28(1), 56-73. <https://doi.org/10.25054/01247905.1224>

Posada-García, J. A., y Roldán-Pérez, G. (2003). Clave ilustrada y diversidad de las larvas de trichoptera en el noroccidente de Colombia. *Caldasia*, 169-192.

Rodríguez, B. L., Ríos, G. P., Espinosa, C. M., Cedeño, L. P. y Jiménez, O. G. (2016). Caracterización de la calidad de agua mediante macroinvertebrados bentónicos en el río Puyo, en la Amazonía ecuatoriana. *Hidrobiológica*, 26(3), 497-507.

Roldán, G. y Ramírez, J. J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Editorial Universidad de Antioquia.

Roldán, G. (2009). Desarrollo de la limnología en Colombia: cuatro décadas de avances progresivos. *Actual Biol*, 31(91), 227-237.

Roldán, P. G. (2012). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua. 978-958-8188-19-5.

Roldán-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 254-274.

Romero, B. I., Pérez, M. S. y Rincón Hernández, M. E. (2006). Aspectos ecológicos de los trichoptera del Parque Nacional Natural 'Cueva de los Guácharos', Huila-Colombia. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/2506>

Romo, G. M. y Aroca, V. L. (2020). Macroinvertebrados del área Serranía de los Churumbelos Auka Wasi asociados a la calidad del agua. Parques Nacionales Naturales de Colombia. <https://doi.org/10.15472/tpcriy> accessed via GBIF.org

Sánchez, M. M. y García, D. P. (2018). *Determinación del índice BMWP/Col, mediante la utilización de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad de agua, en el cauce del río Guachicos, que surge el acueducto del municipio de Pitalito*. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/21168>

Springer, M. (2010). Capítulo 7: *Trichoptera*. *Revista de Biología Tropical*, 58 (4), 151-198. [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442010000800007&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442010000800007&lng=en&tlng=es)

Valbuena-Villareal, R. D., & Gualtero-Leal, D. M. (2021). Aquatic macroinvertebrates (Animalia: Invertebrata) of the area of influence of El Quimbo Hydroelectric Station, Huila, Colombia. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*, 25(1), 15-31. <https://doi.org/10.17151/bccm.2021.25.1.1>

Villalobos-Moreno, A. y Salazar, E. J. (2020). Contribución al conocimiento de los *Lepidoptera* de la cuenca del río Frío, Santander, Colombia (*Lepidoptera: Papilionoidea*). *SHILAP Revista lepid*, 48(189), 153-166. URL: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=45562768024>

Villarreal, G. D. (2019). *Determinación de la calidad de agua mediante la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de tres afluentes principales en el río Guachicos municipio de Pitalito Huila*. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/28090>

Vinasco, G. M., Guzmán, O. M., Trujillo, Z. S., Sánchez, M. M., García, D. P., Villarreal, D. S., Martínez, J. A., Chavarro, J. A., Cruz, O. C., Ortega, A. J., Moreno, S. L. y Lasso, D.J. (2021). Evaluación de la calidad del agua del río Guachicos y sus cinco principales afluentes en Pitalito (Colombia), utilizando los índices de contaminación ICOS y el índice BMWP/Col en gestión ambiental y desarrollo agropecuario sostenible. En *Capítulo 1. Gestión ambiental*. Libros Universidad Nacional Abierta y a Distancia (pp. 8-77). <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/book/article/view/5191>



## CAPÍTULO 2

---

# ESTRATEGIAS DE GESTIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO MAGDALENA

---



Andrés Mauricio Munar Samboní  
Nelly María Méndez Pedroza  
Oscar Eduardo Valbuena Calderón  
Armando Enrique Fernández Chávez  
Vicente Fernández Hidalgo  
Luis Alexander Carvajal Pinilla  
Mauro Albeiro Bravo Gaviria  
Guillermo Edmundo Caicedo Díaz  
Juan Pablo Herrera Cerquera  
Johana Ximena Castro Trujillo  
Leidy Yurani Jiménez Cruz  
Gustavo Adolfo Ramírez Córdoba  
William Ignacio Montealegre Torres  
Carlos Guillermo Mesa Mejía  
Paola Andrea Tenorio Sánchez  
Bilma Adela Florido Cuellar

Este capítulo consolida las principales investigaciones relacionadas con la formulación e implementación de estrategias de gestión y adaptación al cambio climático en la cuenca alta del río Magdalena, especialmente relacionadas con la gestión de la biodiversidad en áreas protegidas, medidas de restauración ecológica a partir de inventarios forestales, caracterizaciones de suelos, balance de nutrientes e inventarios de aves y especies forestales. Los resultados obtenidos en cada una de estas investigaciones contribuyen a la ampliación del conocimiento y se constituyen en una línea base para generar estrategias de gestión y conservación de cuencas hidrográficas.

## 2.1 GESTIÓN DE LA BIODIVERSIDAD EN ÁREAS PROTEGIDAS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MAGDALENA: CASO DE ESTUDIO: COMADREJA COLOMBIANA (*MUSTELA FELIPEI*)

Andrés Mauricio Munar Samboní<sup>11</sup>

Nelly María Méndez Pedroza<sup>12</sup>

Oscar Eduardo Valbuena Calderón<sup>13</sup>

Armando Enrique Fernández Chávez<sup>14</sup>

Vicente Fernández Hidalgo<sup>15</sup>

Luis Alexander Carvajal Pinilla<sup>16</sup>

11 Ingeniero Ambiental, Universidad del Cauca. MSc. en Ecología y Gestión de Ecosistemas Estratégicos, PhD. en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental, docente investigador, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Colombia. andres.munar@unad.edu.co

12 Doctora en Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito Huila Colombia. Líder ECAPMA Z. Sur. Directora del grupo de investigación Inyumacizo. nelly.mendez@unad.edu.co

13 Ingeniero Agrónomo con Lic. en Ciencias Agrícolas. Docente, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito Huila Colombia. Especialista en Ingeniería Ambiental. MSc en Sistemas Sostenibles de Producción. oscar.valbuena@unad.edu.co

14 Egresado del programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito Huila Colombia. armanfecha@hotmail.com

15 Egresado del programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito Huila Colombia. vizifh28@hotmail.com

16 Docente investigador, Corporación Universitaria del Huila CORHUILA, Neiva, Colombia. luis.carvajal@corhuila.edu.co

## RESUMEN

---

La presente investigación se realizó con el fin de implementar estrategias de gestión y conservación de la biodiversidad en áreas protegidas de la cuenca alta del río Guarapas, especialmente para la comadreja colombiana (*Mustela felipei*) atendiendo a la identificación, evaluación y orientación de iniciativas comunitarias que contribuyan a la gestión ambiental y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. En paisajes diversos de la cuenca alta del río Guarapas, se realizaron evaluaciones para la caracterización del paisaje, así como muestreos de la especie, atendiendo a métodos estandarizados que permitieron obtener muestras significativas e información confiable sobre la distribución potencial de la comadreja colombiana. A partir de los individuos registrados, se estableció el estado de conservación y se formularon estrategias de conservación. Finalmente, en el marco del fortalecimiento local, se realizó la fase de sensibilización en campo a la comunidad, en procura de ayudar a la conservación de su entorno y sus recursos.

**Palabras clave:** áreas protegidas; Mustélidos; comadreja; biodiversidad

## ABSTRACT

---

This research was carried out in order to implement strategies for the management and conservation of biodiversity in protected areas of the upper Guarapas River Basin, especially for the Colombian Weasel (*Mustela felipei*), attending to the identification, evaluation and orientation of community initiatives that contribute to environmental management and the sustainable use of natural resources. Multiple evaluations were carried out for the characterization of diverse landscapes in the upper Guarapas River Basin, as well as samplings of the species, attending to standardized methods that allowed obtaining significant samples and reliable information on the potential distribution of the Colombian weasel. From the records individuals, the conservation status was established and conservation strategies were formulated. Finally, the community awareness phase was carried out in the field in an attempt to help conserve their environment and resources.

**Keywords:** protected areas; Mustelids; weasel; biodiversity

# INTRODUCCIÓN

---

Uno de los principales factores de pérdida de biodiversidad es la degradación de los ecosistemas naturales y su conversión a otros tipos de usos del suelo (FAO 2005; Groombridge & Jenkins 2002). En la actualidad actividades como la agricultura, ganadería, la consolidación de los cultivos ilícitos, el desarrollo de la infraestructura, la minería, los incendios forestales y la introducción de especies foráneas, entre otras son consideradas como las principales causas directas de la pérdida de la biodiversidad (Rudas et al., 2007). Se considera que en los últimos 50 años el ser humano ha transformado los ecosistemas más rápida y extensamente que en ningún otro periodo, lo cual ha generado una pérdida considerable y en gran medida irreversible de la diversidad en la tierra (Romero et al., 2008).

En Colombia, aunque no existen inventarios biológicos detallados y completos para todo el país, si se conoce que, a nivel de especies, se considera como la cuarta nación en biodiversidad mundial siendo por grupo taxonómico, el segundo en biodiversidad a nivel de plantas, primera en anfibios y aves, tercera en reptiles y quinto en mamíferos (IAVH, 2000). Sin embargo, las especies con un mayor grado de interés para la conservación son necesariamente aquellas que presentan algún grado inmediato de amenaza (Calderón et al., 2005).

En este sentido, la información sobre mamíferos de mediano y gran tamaño es cada vez más importante para la implementación de estrategias que permitan su protección y manejo en escalas regionales y locales (Gonthier & Castañeda, 2013; Springer et al., 2012). Estas informaciones permiten conocer la distribución geográfica de las especies y facilitan la implementación de programas de seguimiento y monitoreo. Por tanto, surge la necesidad de ampliar los conocimientos en cuanto a manejo y conservación de especies, con el fin de mantenerlas y posibilitar a las generaciones venideras de su deleite.

El departamento del Huila posee cerca de su cuarta parte en bosques andinos, ubicados en áreas naturales de importancia nacional, regional y local, algunas de las cuales se encuentran declaradas como áreas protegidas y otras se hallan en proceso de declaratoria. Estas áreas, en conjunto con las pertenecientes al Sistema de Parques Nacionales Naturales, constituyen los principales nichos de diversidad biológica, producción hídrica y representatividad ecosistémica del departamento, y cumplen funciones estratégicas en términos de conectividad biológica de los corredores de oferta de bienes y servicios ambientales para la región y el país (CAM, 2006).

Para la cuenca alta del río Guarapas y en especial el área de influencia del Parque Natural Municipal de Pitalito, conformado por las veredas El Pensil, La Esperanza y El Carmen, se han evidenciado avistamientos de especies amenazadas, entre ellas la comadreja colombiana (*Mustela felipei*), la cual es una de las últimas especies de carnívoros descubiertas en el continente americano (Burneo et al., 2009; Tirira & González-Maya, 2009) y actualmente se encuentra listada como vulnerable (B1ab (ii, iii)) por la UICN (International Union for Conservation of Nature) en la lista roja de especies amenazadas. Los registros sobre el rango de distribución y el estado de conservación de esta especie son mínimos y totalmente desconocidos, y por ende su estado de conservación está basado en decisiones precarias, más que en información disponible.

En esta investigación fueron propuestas e implementadas estrategias de gestión y conservación de la biodiversidad en áreas protegidas de la cuenca alta del río Guarapas para la especie comadreja colombiana (*Mustela felipei*), a través de caracterizaciones del paisaje y muestreos de la especie. La metodología propuesta podría ser usada en futuros estudios que integren seguimiento y monitoreo de biodiversidad, modelación de distribución de especies, entre otros.

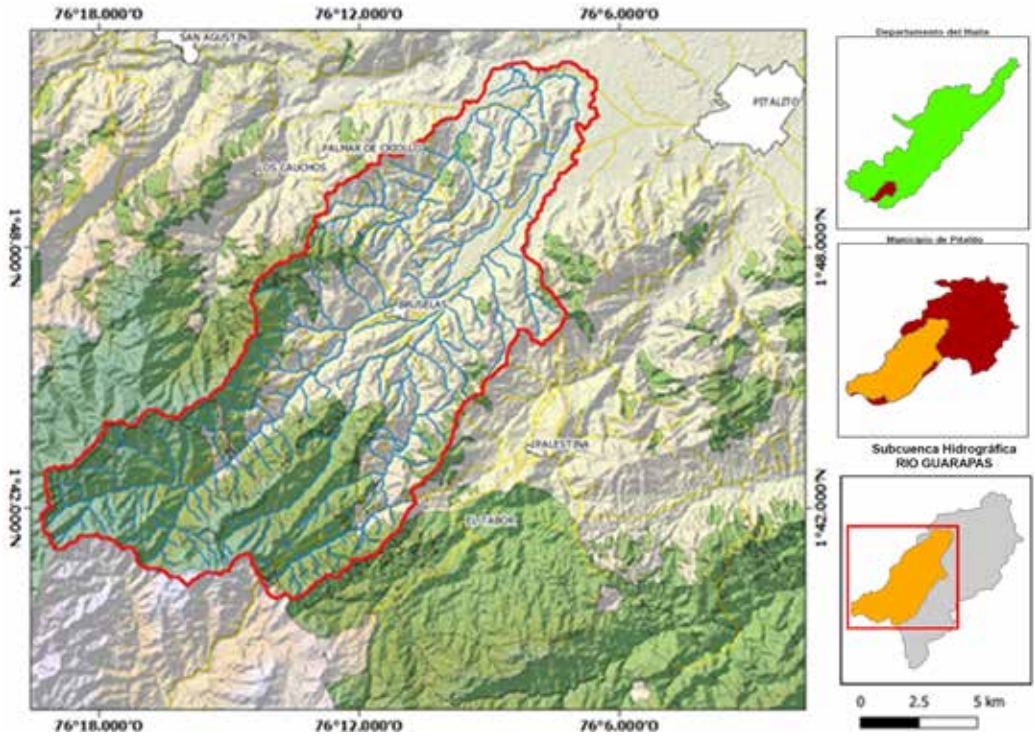
## MATERIALES Y MÉTODOS

---

### ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la zona de influencia del Parque Natural Municipal de Pitalito (PNMP), localizada en la cuenca alta del río Guarapas (Figura 1). El área tiene una extensión de 4 372,34 Has. con un perímetro de 31,11 km, limita al noreste con la vereda El Porvenir del municipio de Pitalito, al este con las veredas El Carmen y El Pensil (municipio de Pitalito), al sur con el departamento del Cauca y al suroeste con la vereda Las Delicias del municipio de San Agustín (Huila). El parque municipal está conformado por la parte alta de la subcuenca del río Guachicos, y de esta hace parte la quebrada la Danta, la Chorrera y Berlín (CAM, 2006). En la siguiente figura se presenta el área de estudio:

**Figura 1.** Localización del área de estudio en la parte alta de la cuenca del río Guarapas en inmediaciones del Parque Natural Municipal de Pitalito.



**Fuente:** los autores

## DISEÑO METODOLÓGICO

Para el desarrollo de esta fase se contó con diferentes centros de información, entre ellos el Sistema de Información Ambiental (SIA) de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), archivos municipales y levantamientos de información de campo con las diferentes comunidades especialmente con los integrantes de la Corporación para el Monitoreo de la Biodiversidad del Sur Mashiramo.

### MÉTODOS DE EVALUACIÓN PARA DETECTAR LA ESPECIE

El propósito de los métodos de campo empleados para generar datos de detección/no-detección que se utilizan para estimar la probabilidad de ocupación de una espe-

cie, es maximizar la probabilidad de detección, si esta está presente (Villareal et al., 2004.). Dado el carácter críptico de la *M. felipei* y la poca probabilidad de avistamientos directos, la detección de la especie se realizó a través de la evaluación de señales de actividad de la especie en transectos y la captura o fotodetección a través de trampas cámara. Las señales de actividad fueron definidas como cualquier elemento o señal que se produzca por el movimiento o conducta del individuo, que informe sobre la presencia de la especie (p. ej. comederos, huellas, excremento, dormideros, marcas en árboles, entre otros (Goldstein et al., 2015)). Las señales de actividad se evaluaron a lo largo de transectos de largo fijo o variable, es decir, recorridos para la búsqueda de evidencias de la presencia de la actividad de la especie. Para los periodos de muestreo con equipos electrónicos (cámaras trampa) se contemplaron temporadas de 45 a 60 días, lo cual permitió establecer tres o cuatro visitas por temporada (visitas de 15 a 20 días continuos).

## EQUIPOS

Durante un periodo de seis meses, se realizó un monitoreo continuo en las veredas Carmen, Pensil y Esperanza. Las cámaras trampa se instalaron en los puntos estratégicos seleccionados, los cuales se adecuaron de la siguiente manera:

- Se ubicaron los sitios con mayor probabilidad de actividad de la especie *M. felipei*.
- Se removieron todas las malezas del sitio con el objetivo de obtener imágenes de alta calidad.
- Se ubicó cada cámara trampa una altura entre 30 cm y 50 cm.
- Se configuró cada cámara trampa de manera automática para la toma de imágenes con un intervalo de 30 segundos. Las cámaras trampa fueron revisadas periódicamente los equipos instalados verificando su óptimo funcionamiento y que tomas había realizado.

Los siguientes equipos fueron utilizados:

- cámaras trampa de referencia *Cuddeback Digital* con ocho baterías AA de 1.2 V.
- cámaras *RECONYX* con 12 baterías AA de 1.2 V.
- 1 *GPS GARMIN Etrex 20x*, de baterías tipo AA de 1.5 V.



## DEFINICIÓN DE LA UNIDAD DE MUESTREO

Para el caso de la *M. felipei* se siguió la metodología sugerida por Márquez et al. (2017). Fueron definidas dos unidades de muestreo. La primera a escala de 16 km<sup>2</sup>, la cual se relaciona con abundancia de la especie y es usada para la evaluación del estado de conservación. La segunda a escala de 1 km<sup>2</sup>, la cual es utilizada para la evaluación de los factores que afectan el uso de una parte del área ocupada.

Personal, equipos, suministros y logística

Para el desarrollo de las actividades propuestas fue necesario personal capacitado en múltiples campos del conocimiento que trabajaron de manera coordinada antes, durante y después del desarrollo del trabajo de colecta de información en campo. Para el diseño del monitoreo y del muestreo se contó con un profesional en Biología, el cual coordinó el desarrollo de estas etapas. Para la fase de SIG, se contó con ingeniero experto en SIG, que estuvo a cargo de análisis y geoprocusamiento de la información.

## ESTRATEGIAS DE PROTECCIÓN, PRESERVACIÓN Y MANEJO SOSTENIBLE DE LAS ÁREAS QUE REQUIERAN ESPECIAL SALVAGUARDIA

Para esta etapa de la investigación se planteó la implementación de metodologías comunitarias, a través de trabajo comunitario. Para ello, se desarrollaron talleres y charlas con la comunidad, las cuales incluyeron:

- Sensibilización comunitaria a adultos y niños escolarizados.
- Talleres comunitarios de identificación de especies.
- Talleres de evaluación de amenazas, presiones y DOFA.
- Talleres de elaboración de estrategias de manejo y conservación.
- Formulación comunitaria de proyectos.

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

## DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS POTENCIALES DE PRESENCIA/AUSENCIA DE LA *M. FELIPEI* EN LA ZONA DE INFLUENCIA DEL PARQUE NATURAL DE PITALITO (PNMP)

Se realizó la salida preliminar de reconocimiento de campo donde fueron seleccionados los puntos donde fueron instaladas las cámaras trampa (Imágenes 1 y 2).

**Imagen 1.** *Punto de instalación de cámaras trampa, vereda El Carmen.*



**Fuente:** los autores

**Imagen 2.** *Punto de instalación de cámaras trampa, vereda La Esperanza.*



**Fuente:** los autores

## INSTALACIÓN, CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DE CÁMARAS TRAMPA

Durante el proceso de instalación de cámaras trampa en las Veredas El Carmen, La Esperanza y El Pensil (Imágenes 3 y 4), se contó con el apoyo y la colaboración del grupo de monitoreo de biodiversidad Mashiramo.

**Imagen 3.** Cámaras trampa instaladas.



**Fuente:** los autores

**Imagen 4.** Estudiantes de Ingeniería Ambiental en la calibración y revisión periódica de las cámaras trampa.



**Fuente:** los autores

## DETECCIÓN DE ESPECIES

En el desarrollo de la investigación se realizó la práctica de foto trapeo y recorridos libres en áreas seleccionadas por habitantes del área de estudio. Aunque no se logró evidencia de la especie objeto de estudio *Mustela felipei*, se logró una captura de la comadreja de cola larga o comadreja andina (*Mustela frenata*), la cual está catalogada en la lista roja de la UICN de 2008 como especie Vulnerable (VU). Adicionalmente, se logró evidenciar la presencia de especies que comparten el mismo hábitat (Tabla 1).

En total se registraron 13 individuos de chucha (*Didelphis marsupialis*) distribuidos de la siguiente manera: ocho individuos en la vereda El Carmen, cuatro individuos en la vereda La Esperanza y un individuo en la vereda Pensil. Se registró una especie de armadillo (*Cabassous centralis*) en la vereda El Carmen; una especie de tigrillo (*Leopardus pardalis*) en la vereda El Carmen; dos especies de guara (*Dasyprocta punctata*) en la vereda El Carmen y vereda La Esperanza. Se registraron nueve avistamientos de chilanga (*Aramides cajaneus*) distribuidas de la siguiente manera: siete especies en la vereda El Carmen y dos especies en la vereda el Pensil. Se registró una especie de ave toreador (*Pitangus sulphuratus*) en la vereda El Carmen. Las especies registradas las clasificaron de acuerdo con la UICN (Tabla 5):

**Tabla 5.** Clasificación de especies registradas en el área de estudio de acuerdo a los lineamientos de la UICN.

Nombre Común	Nombre científico	Estado de conservación
Chucha	<i>Didelphis marsupialis</i>	Preocupación menor (LC)
Guara	<i>Dasyprocta punctata</i>	Preocupación menor (LC)
Armadillo	<i>Cabassous centralis</i>	Datos deficientes (DD)
Tigrillo	<i>Leopardus pardalis</i>	Casi Amenazado (NT)
Comadreja colombiana	<i>Mustela frenata</i>	Vulnerable (VU)
Rata	<i>Rattus norvegicus</i>	Preocupación menor (LC)
Chilanga	<i>Aramides cajaneus</i>	Preocupación menor (LC)
Toreador	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Preocupación menor (LC)

Las imágenes 5 a 8 muestran los registros de especies en la zona obtenidos a través de las cámaras trampa instaladas en lugares estratégicos de la región.

**Imagen 5.** Especie detectada en la vereda La Esperanza: Nombre común: Guara. Nombre Científico: *Dasyprocta Sp.*



**Fuente:** los autores

**Imagen 6.** Especie detectada en la vereda El Carmen. Nombre común: Chucha. Nombre Científico: *Didelphis marsupialis.*



**Fuente:** los autores

**Imagen 7.** Especie detectada: Nombre común: Toreador. Nombre Científico: *Pitangus sulphuratus.*



**Fuente:** los autores

**Imagen 8.** Especie detectada en la vereda El Carmen: Nombre común: Chilanga. Nombre Científico: *Vanellus chilensis.*



**Fuente:** los autores

En las siguientes imágenes se evidencia la captura mecánica de un individuo de mustela, conocido como *Mustela frenata* o comadreja de cola larga (Imágenes 9 y 10).

**Imagen 9 y 10.** Nuevo registro para el departamento del Huila de la comadreja de cola larga, *Mustela frenata*, en la vereda El Carmen, municipio de Pitalito, departamento de Huila.



**Fuente:** los autores

El registro fotográfico fue obtenido por los coautores Armando y Vicente Fernández, una vez el ejemplar estaba atrapado al exterior de la vivienda, cerca de la zona de aves de corral. Después de tomar las fotografías, fue dejada la puerta del corral abierta para que el individuo escapara hacia la zona boscosa. Algunos aspectos que llamaron la atención en el proceso de identificación fueron la ausencia de la mancha gular, cola larga con el borde distal negro, bullas auditivas alargadas y planta de las patas cubiertas con pelo (Ramírez-Chávez y Mantilla-Meluk, 2009), los cuales son visibles en las imágenes presentadas.

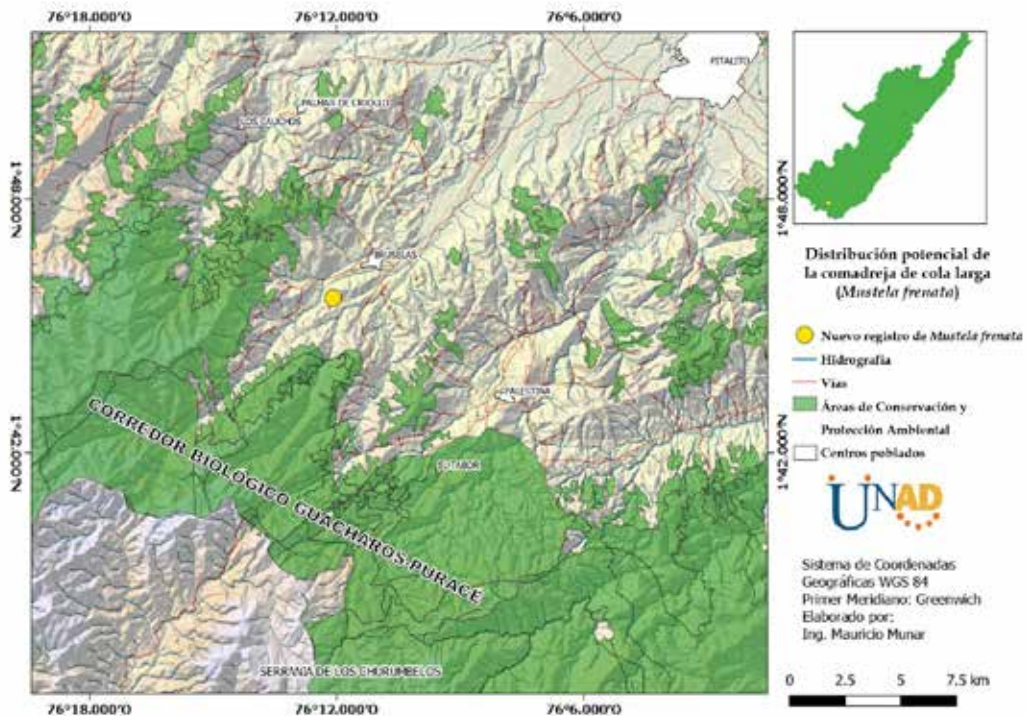
La distribución de *M. frenata* ha sido estudiada previamente mostrando una amplia distribución en Colombia y Ecuador (Escobar-Lasso y Gil-Fernández, 2014; Palacios et al., 2014; Ramírez-Chávez y Mantilla-Meluk, 2009). El nuevo registro de *M. frenata* en la región sur del departamento del Huila, Colombia corresponde al cuarto registro de la especie en áreas próximas al corredor biológico Guácharos – Puracé (Figura 2), luego de reportes de Ramírez-Chávez y Mantilla-Meluk (2009), quienes registraron la presencia de la especie en los municipios de Palestina, Acevedo y Pitalito en estas mismas áreas de conservación y protección ambiental.

Aunque la especie presenta un alto rango de distribución, la falta de observaciones recientes de la especie se debe probablemente a que la comadreja tiende a ser difícil de capturar (Graham, 2002; King, 1975) y en áreas tropicales presenta bajas abundan-

cias (Estrada, 2002). Adicionalmente, se cuenta con poca información sobre aspectos ecológicos y de comportamiento de las comadrejas en áreas tropicales. Si bien la comadreja de cola larga se identifica como una especie que puede encontrarse en el interior del bosque, presenta mayores abundancias en áreas perturbadas y fragmentadas (Estrada, 2002).

A pesar de que la *M. frenata* está catalogada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) como especie de preocupación menor para su conservación (Helgen & Reid, 2016), es importante intensificar estudios de seguimiento y monitoreo con el fin de tener una mejor caracterización de la distribución de la especie y, así, poder establecer estrategias de gestión y conservación.

**Figura 2.** Ubicación de la localidad del nuevo registro de *Mustela frenata* en la región sur del departamento del Huila, Colombia.



**Fuente:** los autores

## VALORACIÓN DE FACTORES AMBIENTALES, BIÓTICOS Y ANTROPOGÉNICOS QUE PUEDAN GENERAR AMENAZA Y RIESGO PARA LA ESPECIE.

A pesar de que la especie objeto de estudio ha sido observada por los habitantes de las comunidades, no se logró capturar en ninguno de los dispositivos instalados el registro de la *Mustela felipei*. Los resultados obtenidos corroboran la afinidad de *M. felipei* por los ecosistemas de alta montaña y su aparente incapacidad ecológica para la colonización de tierras bajas, tal como se ha encontrado en otros estudios (Ramírez-Chaves y Mantilla-Meluk, 2009). Las especies registradas en la fase de campo catalogan a la zona como una región rica en biodiversidad, la cual merece especial atención para implementar programas de seguimiento, monitoreo y conservación.

Uno de los factores ambientales, bióticos y antropogénicos que puedan generar amenaza y riesgo para la especie, es la pérdida de cobertura, la cual es una de las principales amenazas para el hábitat de la especie. En este sentido, es necesaria la articulación entre la academia, la gobernabilidad y los órganos de control que permita la creación de políticas ambientales que generen el crecimiento del sector agropecuario sin deterioro de los recursos naturales y los ecosistemas estratégicos.

Por otro lado, las comunidades cumplen un rol indispensable dentro de los procesos que se desarrollan para la conservación de la biodiversidad en el territorio, siendo estos actores activos en la toma de decisiones que conllevan a la protección de los ecosistemas. Es importante articular este tipo de propuestas tanto con las comunidades como con los procesos educativos para así lograr una sostenibilidad ambiental a largo plazo.

## ESTRATEGIAS PARTICIPATIVAS PARA LA PRESERVACIÓN, PROTECCIÓN Y MANEJO AMBIENTAL

Para esta etapa de la investigación se planteó la implementación de metodologías comunitarias, a través de trabajo comunitario. Para ello, se desarrollaron talleres y charlas con la comunidad, las cuales incluyeron:

- Sensibilización comunitaria a adultos.
- Sensibilización a niños escolarizados.
- Talleres comunitarios de identificación de especies.
- Expediciones comunitarias de reconocimiento de sitios estratégicos.



- Talleres de evaluación de amenazas, presiones y DOFA.
- Talleres de elaboración de estrategias de manejo y conservación.

Se realizaron jornadas de socialización comunitaria con miembros de la sociedad civil y residentes de las veredas El Pensil, La Esperanza y El Carmen. Así mismo, se realizaron jornadas de socialización en la Institución Educativa José Eustasio Rivera, del corregimiento de Bruselas y la Institución Educativa (IE) Montessori del municipio de Pitalito, con estudiantes de los grados 7 a 11, donde algunos manifestaron haber tenido algún tipo de contacto o información de la especie a estudiar (*Mustela felipei*).

**Imagen 11.** Investigador principal y coinvestigador realizando jornada de socialización de avances del proyecto en las veredas El Carmen, La Esperanza y El Pensil.



**Fuente** los autores

**Imagen 12.** Jornada de socialización de avances del proyecto en las veredas El Carmen, La Esperanza y El Pensil.



**Fuente** los autores

**Imagen 13.** Investigador principal socializando el proyecto en la Institución Educativa José Eustasio Rivera, del corregimiento de Bruselas, municipio de Pitalito.



**Fuente** los autores

**Imagen 14.** Investigador principal socializando resultados del proyecto en la Institución Educativa Montessori del municipio de Pitalito.



**Fuente** los autores

## CONCLUSIONES

---

Esta investigación se basó en proponer e implementar estrategias de gestión y conservación de la biodiversidad en áreas protegidas de la cuenca alta del río Guarapas, especialmente para la comadreja colombiana (*Mustela felipei*). De acuerdo con los resultados obtenidos, se logró recopilar valiosa información de línea base que permitió identificar las causas y riesgos a los que se ve expuesta la comadreja colombiana (*M. felipei*) y la comadreja de cola larga (*M. frenata*), así como las especies registradas, las cuales hacen parte de la lista roja de especies amenazadas de la UICN.

A pesar de que no se logró evidencia de la especie objeto de estudio, se logró el registro de la comadreja de cola larga o comadreja andina (*Mustela frenata*), la cual está catalogada en la lista roja de la UICN de 2008 como especie Vulnerable (VU). Adicionalmente, se logró evidenciar la presencia de especies que comparten el mismo hábitat y que también presentan un grado de amenaza de acuerdo con la UICN.

Durante la aplicación de entrevistas y talleres a la comunidad, se logró conocer que los habitantes de las zonas donde se realizó el estudio son conscientes de la presencia de la comadreja colombiana (*M. felipei*, *M. frenata*), conocen los riesgos y amenazas a los que se ve expuesta la especie y ven la importancia de su conservación.

Los resultados obtenidos permiten determinar la poca información de *M felipei* publicada en Colombia y más en la zona sur del Huila donde se desarrolló la investigación, los habitantes de las comunidades dicen que existe este ejemplar, pero no se ha logrado un registro donde se pueda corroborar.

Finalmente, se concluye que la especie objeto de estudio hace presencia en algunos puntos donde se realizó la investigación de acuerdo con los resultados obtenidos por medio de entrevistas, pero no se lograron a través de cámaras trampa, la cual que fue la metodología base del proyecto.

Dentro de las recomendaciones y considerando que el desarrollo de la investigación se realizó en la zona de influencia de las veredas (El Pensil, La Esperanza y El Carmen) del Parque Natural Municipal de Pitalito (PNMP), se recomienda que los entes territoriales se centren en la implementación de estudios más detallados para especies en peligro de extinción. Sin embargo, al considerar el desarrollo del proyecto y los bajos resultados en la técnica de foto trapeo para la especie objeto de estudio, se recomienda no realizar instalaciones muy cerca de las viviendas para evitar registros de animales domésticos.

## AGRADECIMIENTOS

---

Los autores agradecen a la Corporación Mashiramo por brindar el apoyo para el desarrollo de actividades en campo. A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) por el apoyo y recursos necesarios para la ejecución del proyecto.

## REFERENCIAS

---

Burneo, S., González-Maya, J. F., & Tirira, D. (2009). Distribution and habitat modelling for Colombian weasel *Mustela felipei* in the Northern Andes. *Small Carnivore Conservation*, 41, 41-45.

Calderón, E., Galeano, G. y García, N. (2005). Libro rojo de las plantas de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

CAM. (2006). Plan de Manejo Ambiental del Parque Natural del Municipio de Pitalito (PNMP). Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena CAM. Pitalito (p. 23.)

Escobar-Lasso, S. y Gil-Fernández, M. (2014). El mayor registro de elevación de *Mustela frenata* (*Carnivora: Mustelidae*) y distribución en el departamento de Caldas, región andina de Colombia. *Mammalogy Notes*, 1(2), 7-9.

Estrada, A., Rivera, A., & Coates-Estrada, R. (2002). Predation of artificial nests in a fragmented landscape in the tropical region of Los Tuxtlas, Mexico. *Biological Conservation*, 106(2), 199-209.

FAO. (2005). Global forest resources assessment.

Goldstein, I., Márquez, R. y Bianchi, G. (2015). Guía para el uso de trampas cámara: oso andino. Wildlife Conservation Society Colombia (p. 44).

Gonthier, D. J., & Castañeda, F. E. (2013). Large-and medium-sized mammal survey using camera traps in the Sikre River in the Río Plátano Biosphere Reserve, Honduras. *Tropical Conservation Science*, 6(4), 584-591.

Graham, I. M. (2002). Estimating weasel *Mustela nivalis* abundance from tunnel tracking indices at fluctuating field vole *Microtus agrestis* density. *Wildlife Biology*, 8(1), 279-287.

Groombridge, B. & M. D. Jenkins. (2002). *World Atlas of Biodiversity*. UNEP-WCMC. University of California Press.

Helgen, K., & Reid, F. (2016). *Mustela frenata*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T41654A45213820: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T41654A45213820>

IAVH. (2000). Inventarios de biodiversidad. Instituto Humboldt. [http://www.humboldt.org.co/humboldt/homeFiles/inventarios/GEMA\\_CAP\\_01\\_2ED.pdf](http://www.humboldt.org.co/humboldt/homeFiles/inventarios/GEMA_CAP_01_2ED.pdf)

King, C. M. (1975). The sex ratio of trapped weasels (*Mustela nivalis*). *Mammal Review*, 5(1), 1-8.

Márquez, R., Bianchi, G., Isasi-Catalá, E., Ruiz, G. V. y Goldstein, I. (2017). Guía para el monitoreo de la ocupación de oso andino.

Palacios-Rodríguez, R. D., Muñoz-Londoño, A. A. y Mantilla-Meluck, H. (2014). Primeros registros de la comadreja de cola larga *Mustela frenata* (*Carnivora: Mustelidae*) para el departamento del Quindío, Andes Centrales de Colombia. *Revista Biodiversidad Neotropical*, 4(2), 170-176.

Ramírez-Chaves, H. E. y Mantilla-Meluk, H. (2009). Nuevo registro de la comadreja colombiana *Mustela felipei* (*Carnivora: Mustelidae*), con notas sobre su distribución y conservación. *Mastozoología neotropical*, 16(2), 379-388.

Romero, R. M. H., Cabrera, M. E., y Ortiz, P. N. (2008). Informe sobre el estado de la biodiversidad en Colombia 2006-2007. Romero M., Cabrera E. Ortiz N. 2008. *Informe sobre el estado de la biodiversidad en Colombia 2006-2007. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt* (p. 181).

Rudas, G., Marcelo, D., Armenteras, D., Rodríguez, N., Morales, M., Delgado, L. C. y Sarmiento, A. (2007). *Biodiversidad y actividad humana: relaciones en ecosistemas*

*de bosque subandino en Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Springer, M. T., Carver, A. D., Nielsen, C. K., Correa, N. J., Ashmore, J. R., & Lee, J. G. (2012). Relative abundance of mammalian species in a central Panamanian rainforest. *Revista Latinoamericana de Conservación | Latin American Journal of Conservation*, 3(1).

Tirira, D., & González-Maya, J. F. (2009). Current state of knowledge of the least-known carnivore in South America: Colombian weasel *Mustela felipei* in Colombia and Ecuador. *Small Carnivore Conservation*, 41, 46-50.

Villareal, H. M., Álvarez, M., Córdoba-Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., ... y Umaña, A. M. (2004). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad.

## 2.2 CARACTERIZACIÓN FLORÍSTICA Y ESTRUCTURAL DE UN BOSQUE RIPARIO COMO PUNTO DE REFERENCIA PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN LA DESEMBOCADURA DEL RÍO LAS CEIBAS, NEIVA

---

Mauro Albeiro Bravo Gaviria<sup>17</sup>  
Guillermo Edmundo Caicedo Díaz<sup>18</sup>  
Juan Pablo Herrera Cerquera<sup>19</sup>  
Johana Ximena Castro Trujillo<sup>20</sup>

---

17 Ing. Agroforestal. Especialista en Biotecnología Agraria, docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Neiva, Colombia. mabrga6@gmail.com

18 Ing. Agrónomo. Especialista en Formulación y Evaluación de Proyectos de Desarrollo Social, docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Neiva, Colombia. diguillerm@gmail.com

19 Ing. Ambiental. Especialista en Alta Gerencia, MSc. Marketing Digital y Comercio Electrónico, docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Neiva, Colombia. jherrera1155@gmail.com

20 Agrónoma, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Colombia. jxcastrot@unadvirtual.edu.co

## RESUMEN

---

Los bosques riparios en Colombia especialmente los que se encuentran inmersos en las ciudades, se encuentran amenazados por las acciones antrópicas, uno de ellos se encuentra en la ciudad de Neiva, Huila, Colombia sobre la desembocadura de río Las Ceibas con el río Magdalena. En este lugar, se hace necesario tomar medidas de restauración ecológica; sin embargo, no se cuenta con estudios que proporcionen líneas base sobre las condiciones florísticas y estructurales del ecosistema, lo que impide la selección adecuada de especies arbóreas durante las jornadas de reforestación. El propósito de este estudio fue seleccionar especies para la restauración ecológica, por lo que se inventariaron las especies arbóreas y arbustivas del lugar. Se calculó el Índice de Valor de Importancia (IVI) y el Cociente de Mezcla (CM) como indicadores ecológicos y de planificación. Para el muestreo de la vegetación se utilizó el método de transectos de 100 m<sup>2</sup> cada uno. El IVI se obtuvo al sumar la Abundancia relativa (Ar), Frecuencia relativa (Fr) y Dominancia relativa (Dr). El CM se obtuvo al relacionar el número total de especies con el número total de individuos. La familia con mayor riqueza fue la *Fabáceae* (9). Se encontraron 26 especies arbóreas de un total de 225 individuos muestreados, lo cual generó un Cociente de Mezcla de 1:8.6. La especie con mayor peso ecológico fue el Samán (*Samanea saman*) y Raspayuco (*Maclura tinctoria*). Se identificaron cinco especies con bajo IVI, por lo que se recomienda estas como primera medida de reforestación. Las especies identificadas para la restauración ecológica fueron: Orejero (*Enterolobium cyclocarpum*), Pata de Buey (*Bauhinia forficata*), Gualanday (*Jacaranda caucana*), Carbón (*Zygia longifolia*) y Cachimbo (*Erythrina fusca*), sin descartar otras especies que se encuentran en riesgo.

**Palabras clave:** recursos forestales, biodiversidad, deforestación, protección forestal.

## ABSTRACT

---

The riparian forests in Colombia, especially those that are immersed in the cities, are threatened by anthropic actions, one of them is located at the city of Neiva, Huila, Colombia, on the mouth of the Las Ceibas River with the Magdalena River. In this place, it is necessary to take ecological restoration measures. However, there are no studies that provide baselines on the floristic and structural conditions of the ecosystem, which prevents the proper selection of tree species during reforestation days. The purpose of this study was to select species for ecological restoration, for which the tree and shrub species of the place were inventoried. The Importance Value Index (IVI) and the Mixing Ratio (CM) were calculated as ecological and planning indicators. For the vegetation sampling, the method of transects of 100 m<sup>2</sup> each was used. The IVI was obtained by adding the relative abundance, relative frequency and relative dominance. The CM was obtained by relating the total number of species with the total number of individuals. The richest family was the Fabaceae (9). 26 tree species were found out of a total of 225 individuals sampled, which generated a Mix Ratio of 1: 8.6. The species with the highest ecological weight were the Saman (*Samanea saman*) and Raspayuco (*Maclura tinctoria*). Five species with low IVI were identified, so these are recommended as the first reforestation measure. The species identified for ecological restoration were: Orejero (*Enterolobium cyclocarpum*), Pata de Buey (*Bauhinia forficata*), Gualanday (*Jacaranda caucana*), Carbón (*Zygia longifolia*) and Cachimbo (*Erythrina fusca*), without ruling out other species that are at risk.

**Keywords:** forest resources, biodiversity, deforestation, forest protection.



## INTRODUCCIÓN

---

El bosque de galería y ripario se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales (IDEAM, IGAC y Cormagdalena, 2008), los cuales poseen una variedad inusualmente diversa de especies y procesos ambientales (Naiman et al., 1993). En la mayor parte del mundo, las zonas ribereñas están muy modificadas frente a la creciente influencia humana (Richardson et al., 2007). Esto, ha generado la necesidad de la restauración sin afectar el equilibrio ecológico. El manejo adecuado de los bosques ribereños tropicales depende de la información consolidada sobre las especies de plantas que los componen, la forma en que estas se distribuyen en el espacio y las comunidades que constituyen (Cabrera y Rivera, 2016).

La restauración ecológica permite la recuperación de un ecosistema degradado; sin embargo, en Colombia la diferencia entre deforestación y restauración se ha convertido en un factor negativo, el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible para el año 2017 reportó 219 973 Has. deforestadas vs. 50 296,3 Has. restauradas haciendo evidente la necesidad de acciones que permitan revertir la tendencia.

En la ciudad de Neiva se encuentra la desembocadura del río Las Ceibas que vierte sus aguas al río Magdalena. Este lugar presenta un bosque ribereño en el sector comprendido entre el puente del batallón Tenerife y desembocadura del río. Según el mapa de usos del suelo de la ciudad de Neiva, este lugar ha sido catalogado como una zona de Protección Ronda Hídrica (PRH) (Municipio de Neiva, 2009), la cual necesita ser conservada, además, es un corredor biológico de alto valor para la comunidad, ya que recibe la contaminación de la ciudad y previene la socavación del río.

Este bosque, se encuentra junto a la zona urbana de Neiva, por lo cual presenta problemas de contaminación, degradación y deforestación. Esto ha generado la necesidad de su restauración ecológica que ha sido liderada por la comunidad del barrio Rodrigo Lara; sin embargo, no se cuenta con un estudio que proporcione líneas base para la selección adecuada de las especies en las jornadas de reforestación. Esto ha causado que la incorporación de especies se realice con material vegetal donado por organizaciones públicas y privadas sin estimar las consecuencias ecológicas.

El objetivo de este trabajo fue identificar la composición florística y estructural de las especies vegetales leñosas presentes en el bosque ripario de la cuenca Las Ceibas, sector de la desembocadura, sobre el margen derecho e izquierdo del río, en la ciudad de Neiva, lo cual le permitirá a la comunidad identificar especies viables para su restauración y la implementación de medidas de restauración ecológica.

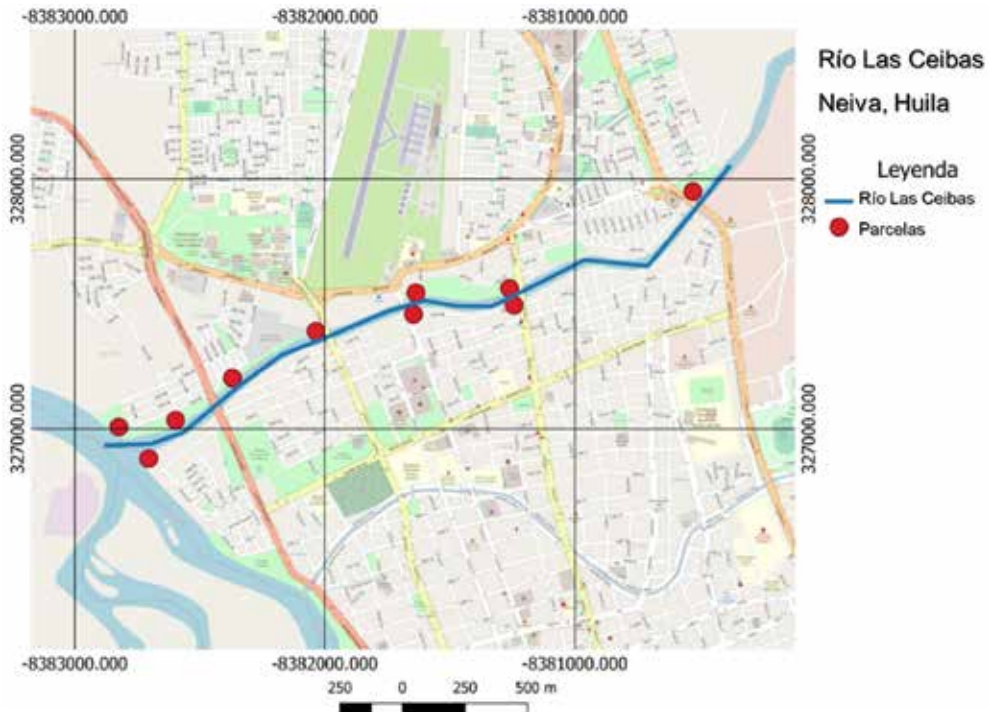
## MATERIALES Y MÉTODOS

---

El estudio se realizó en el margen derecho e izquierdo del río Las Ceibas, sobre los 2,5 km previos a la desembocadura con el río Magdalena, en la ciudad de Neiva, coordenadas latitud 2°56'36.96"N longitud 75°17'2.19" en el punto alto, y latitud 2°56'8.27"N longitud 75°18'13.37"O en el punto bajo, departamento del Huila (Figura 1). Clasificado según el sistema Holdridge en 1967 como un bosque seco tropical (bs-T) (Morales y Espejo, 2019). A 475 m.s.n.m. precipitación de 1 340 mm/año, humedad relativa 66 %, temperatura promedio de 27°C (IDEAM, 1999).

Se realizó una investigación descriptiva. Para el muestreo de la vegetación se utilizó el método de transectos debido a la alta heterogeneidad de la vegetación (Mostacedo y Fredericksen, 2000). Se instalaron diez parcelas de muestreo aleatorias de 10 m x 10 m, generando un área total de muestreo de 1 000 m<sup>2</sup>. Se identificaron individuos a nivel de familia, género y especie. Se inventariaron los individuos con diámetro a la altura de pecho (DAP)  $\geq$  1cm el cual se tomó con cinta métrica a una altura de 1,3 m desde el pie del árbol. Para la obtención del Índice de Valor de Importancia (IVI) se sumó la Abundancia relativa (Ar), Dominancia relativa (Dr) y Frecuencia relativa (Fr) (Villareal et al., 2004), finalmente, se relacionó el número del total de especies en el muestreo, con el número del total de individuos en el muestreo para la obtención del Cociente de Mezcla (CM).

**Figura 1.** Ubicación de las parcelas de muestreo en el bosque ripario de la cuenca del río Las Ceibas, Neiva, Huila.



**Fuente:** los autores

El peso ecológico de las especies se determinó a través del Índice de Valor de Importancia (IVI) el cual fue desarrollado por Curtis & McIntosh (1951) aplicado por Galvis (2009) y Bravo et al. (2021) el cual se obtuvo al sumar la Abundancia relativa (Ar), Frecuencia relativa (Fr) y Dominancia relativa (Dr):

$$IVI = Ar + Fr + Dr$$

La Abundancia relativa (Ar) se obtuvo mediante la ecuación:

$$Ar\% = \left( \frac{n_i}{N} \right) \times 100$$

Donde:

$n_i$  = Número de individuos de la  $i$ -ésima especie.

$N$  = Número de individuos totales en la muestra.

La Frecuencia relativa (Fr) se obtuvo mediante la ecuación:

$$Fr\% = \left( \frac{Fi}{Ft} \right) \times 100$$

Donde:

Fi = Frecuencia absoluta de la i-ésima especie.

Ft = Total de las frecuencias en el muestreo.

La Dominancia relativa (Dr) se obtuvo mediante la ecuación:

$$Dr\% = \left( \frac{DaS}{DaT} \right) \times 100$$

Donde:

DaS = Dominancia absoluta de una especie.

DaT = Dominancia absoluta de todas las especies.

Al final, se calculó el Cociente de Mezcla (CM) al relacionar el número total de especies con el número total de individuos, utilizado por Bravo et al. (2021).

$$CM = \left( \frac{S}{N} \right) = \left( \frac{S/S}{N/S} \right)$$

Donde:

S = Número total de especies en el muestreo.

N = Número total de individuos en el muestreo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron 26 especies arbóreas de un total de 225 individuos muestreados (Tabla 1), lo cual generó un Cociente de Mezcla (CM) de 1:8.6, esto significa que se puede encontrar una especie diferente por cada 8.6 individuos muestreados, por lo que se puede considerar una alta diversidad en relación al área del bosque, la cual fue de aproximadamente tres hectáreas. Los resultados coinciden con los estudios realizados en el bosque del barrio Carlos Pizarro en la misma ciudad, en el cual se encontró un Cociente de Mezcla (CM) de 1:7 considerándolo como diverso (Bravo et al., 2021). Las 26 especies encontradas correspondieron a 13 familias. La familia más abun-

dante fue la Fabácea, lo cual concuerda con los resultados de Pizano & García (2014), Bravo et al. (2021) quienes reportan a esta familia como una de las más abundantes en esta región.

Los resultados muestran una alta riqueza florística, lo cual, posiblemente se debe a las continuas jornadas de reforestación de parte de las comunidades aledañas, las cuales reforestan con variedad de especies vegetales (Bravo et al., 2021). Sin embargo, esta inserción de especies se realiza con materiales donados por viveros de la zona y entidades públicas sin contar con estudios previos que permitan identificar especies viables para el bosque ribereño.

**Tabla 1.** Composición florística para especies con (DAP)  $\geq 1\text{cm}$ , en la desembocadura del río Las Ceibas de Neiva, Huila.

Familia	Nombre común	Nombre científico <sup>21</sup>
Anacardiaceae R. Br.	Mango	<i>Mangifera indica</i> L.
Anacardiaceae	Caracolí	<i>Anacardium excelsum</i> (Bertero & Balb. ex Kunth) Skeels
Annonaceae Juss.	Guanábano	<i>Annona muricata</i> L.
Bignoniaceae Juss.	Gualanday	<i>Jacaranda caucana</i> Pittier
Chrysobalanaceae R. Br.	Oiti	<i>Licania tomentosa</i> (Benth.) Fritsch
Ericaceae	Madroño	<i>Arbutus unedo</i> L.
Fabaceae	Samán	<i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr
Fabaceae	Payandé	<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth
Fabaceae	Iguá	<i>Pseudosamanea guachapele</i> (Kunth) Harms
Fabaceae	Orejero	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb
Fabaceae	Pata de buey	<i>Bauhinia forficata</i> Link
Fabaceae Lindl.	Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit
Fabaceae Lindl.	Cachimbo	<i>Erythrina fusca</i> Lour
Fabaceae Lindl.	Carbón	<i>Zygia longifolia</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Britton & Rose
Fabaceae Lindl.	lluvia de oro	<i>Cassia fistula</i> Schimp. ex Oliv.
Malvaceae	Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam

21 Nombre científico según Jardín Botánico de Missouri (2021)

Familia	Nombre común	Nombre científico <sup>21</sup>
Malvaceae Juss.	Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.
Meliaceae Juss.	Sombrillo	<i>Melia azedarach</i> L.
Moraceae	Dinde	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex Steud.
Moraceae Gaudich.	Raspayuco	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex Steud.
Moraceae Gaudich.	Ficus	<i>Ficus benjamina</i> L.
Myrtaceae	Mirto	<i>Myrtus communis</i> L.
Polygonaceae Juss.	Maíz tostado	<i>Coccoloba acuminata</i> Kunth
Rutaceae Juss.	Limón suingle	<i>Swinglea glutinosa</i> (Blanco) Merr.
Sapindaceae	Mamoncillo	<i>Melicoccus bijugatus</i> Jacq
Urticaceae	Yarumo	<i>Cecropia angustifolia</i> Trécul

**Fuente:** los autores

Las especies con mayor peso ecológico, es decir, con mayor Índice de Valor de Importancia (Tabla 2) fueron: Samán (*Samanea saman*) y Raspayuco (*Maclura tinctoria*) cuyos IVI oscilaron entre 16 685 y 14 438. La abundancia de Samán se puede explicar, ya que es una de las especies que predomina en las jornadas de reforestación y es fácil de conseguir en los viveros de la zona y de producir por su rápido prendimiento y crecimiento.

Las especies con menor peso ecológico, es decir, con menor IVI en la ribera del río, fueron: Orejero (*Enterolobium cyclocarpum*), Pata de Buey (*Bauhinia forficata*), Madroño (*Arbutus unedo*), Gualanday (*Jacaranda caucana*), Guanábano (*Annona muricata*) y Maíz tostado (*Coccoloba acuminata*) oscilando entre 0,792 y 0,696 por lo que se recomienda estas como primera medida de reforestación en la ribera del río. Sin embargo, se debe descartar algunas especies frutales introducidas por los pobladores como Guanábano y Madroño, y reemplazarlas en las jornadas de restauración por especies más recomendables para la protección de cuencas como Carbón (*Zygia longifolia*) y Cachimbo (*Erythrina fusca*).

Los IVI altos fueron el resultado de encontrar al Samán y al Raspayuco como las especies más abundantes, frecuentes y dominantes.

**Tabla 2.** Índice de valor de importancia (IVI) para las especies encontradas en la desembocadura del río Las Ceibas, Neiva, Huila.

#	Nombre	Abundancia	Ar	Frecuencia absoluta	Fr	Dominancia absoluta	Dr	IVI al 100 %
1	Samán	18	8,000	4	6,557	6,201	35,499	16,685
2	Raspayuco	37	16,444	5	8,197	3,262	18,674	14,438
3	Guácimo	27	12,000	6	9,836	0,719	4,116	8,651
4	Leucaena	27	12,000	5	8,197	0,175	1,003	7,067
5	Cachimbo	15	6,667	3	4,918	1,585	9,075	6,887
6	Payandé	17	7,556	3	4,918	1,050	6,010	6,161
7	Carbón	20	8,889	1	1,639	0,855	4,893	5,140
8	Ceiba	4	1,778	4	6,557	1,168	6,685	5,007
9	Oiti	19	8,444	2	3,279	0,049	0,282	4,002
10	Ficus	3	1,333	2	3,279	1,135	6,498	3,703
11	Mango	7	3,111	3	4,918	0,321	1,838	3,289
12	Caracolí	2	0,889	2	3,279	0,637	3,648	2,605
13	Yarumo	3	1,333	3	4,918	0,008	0,047	2,099
14	Iguá	4	1,778	2	3,279	0,081	0,466	1,841
15	Mirto	3	1,333	2	3,279	0,002	0,014	1,542
16	Dinde	2	0,889	2	3,279	0,057	0,328	1,499
17	Mamoncillo	2	0,889	2	3,279	0,020	0,114	1,427
18	Limón suingle	2	0,889	2	3,279	0,004	0,025	1,397
19	lluvia de oro	4	1,778	1	1,639	0,047	0,269	1,229
20	Sombrillo	3	1,333	1	1,639	0,011	0,065	1,013
21	Orejero	1	0,444	1	1,639	0,051	0,292	0,792
22	Pata de buey	1	0,444	1	1,639	0,013	0,073	0,719
23	Madroño	1	0,444	1	1,639	0,007	0,041	0,708
24	Guanday	1	0,444	1	1,639	0,004	0,022	0,702
25	Guanábano	1	0,444	1	1,639	0,003	0,018	0,701
26	Maíz tostado	1	0,444	1	1,639	0,001	0,005	0,696
	TOTAL	225	100,000	61	100,000	17,468	100,000	100,000

**Fuente:** los autores

## CONCLUSIONES

---

En el bosque ribereño del río Las Ceibas se encontraron 26 especies arbóreas de un total de 225 individuos muestreados, lo cual generó un Cociente de Mezcla (CM) de 1:8.6, considerándolo como un bosque diverso en función del área muestreada. Se identificaron 13 familias, siendo la familia más abundante la Fabáceae con nueve especies. Las especies con mayor Índice de Valor de Importancia (IVI) fueron: Samán (*Samanea saman*) y Raspayuco (*Maclura tinctoria*) por lo que se consideraron con mayor peso ecológico en la ribera del río. Las especies con menor IVI fueron: Orejero (*Enterolobium cyclocarpum*), Pata de Buey (*Bauhinia forficata*), Madroño (*Arbutus unedo*), Gualanday (*Jacaranda caucana*), Guanábano (*Annona muricata*) y Maíz tostado (*Coccoloba acuminata*).

Se recomienda las especies con bajo IVI como medida de restauración, descartando algunas especies frutales y ornamentales introducidas por la comunidad, incluyendo especies inventariadas como: Carbón (*Zygia longifolia*) y Cachimbo (*Erythrina fusca*), ya que son más recomendables en la protección de cuencas. Para el resto de las especies con bajo IVI se sugieren estudios que permitan seleccionar aquellas cuya función sea la protección de los cauces. Finalmente, se recomiendan proyectos de restauración ecológica tendientes a la protección del bosque ribereño con especies protectoras.

## AGRADECIMIENTOS

---

Los autores agradecen a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) por su apoyo en la disposición de equipos de medición que hicieron posible la toma de datos.



## REFERENCIAS

---

Bravo, G. M., Caicedo, D. G. y Herrera, C. J. (2021). Caracterización estructural de un bosque urbano en la ciudad de Neiva, Huila. En. Gestión ambiental y desarrollo agropecuario sostenible. *Libros Universidad Nacional Abierta y a Distancia*, 1 - 195. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/book/article/view/4664>

Cabrera, D. y Rivera, O. (2016). Composición florística y estructura de los bosques ribereños de la cuenca baja del río Pauto, Casanare, Colombia. *Caldasia*, 38(1), 53. <http://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v38n1.57829>

Galvis, J. F. (2009). Análisis estructural de un bosque natural localizado en zona rural del municipio de Popayán. *Bioteología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 7(1), 115 - 122. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/bioteologia/article/view/710>

Google. (s.f.). *Mapa de Neiva* [Mapa online]. Colombia en Google Maps. Neiva, Huila, Colombia. <https://goo.gl/maps/nxxiTA3dEPRfgcrC8>

IDEAM, IGAC y Cormagdalena. (2008). Mapa de cobertura de la tierra cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Autónoma Regional del río Grande de La Magdalena. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021521/LIBROCORINEFINAL.pdf>

IDEAM. (1999). Información histórica. Cartas climatológicas - Medias mensuales, Aeropuerto Benito Salas. <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/neiva/tabla.htm>

Jardín Botánico de Missouri. (2021, 7 de septiembre). <https://tropicos.org>

Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). Avances estrategia integral de control de la deforestación y gestión de bosques. Bosques territorio de vida, Minambiente, Colombia (p. 4).

Morales, N. y Espejo, N. (2019). Variación de la diversidad taxonómica y funcional de la avifauna en un bosque seco tropical (bs-T) en diferentes estados de sucesión en

el sur del Valle del Magdalena, Huila, Colombia. *Caldasia*, 41(1), 108-123. <http://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v41n1.71272>

Mostacedo, B y Fredricksen, T. (2000). Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. [www.bio-nica.info/biblioteca/mostacedo2000ecologiavegetal.pdf](http://www.bio-nica.info/biblioteca/mostacedo2000ecologiavegetal.pdf)

Municipio de Neiva. (2009). *Usos del suelo* [Mapa]. 1:12.000. <https://www.alcaldia-neiva.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Galeria-de-Mapas.aspx#lg=1&slide=0>

Naiman, R.J., Decamps, H., & Pollock, M. (1993). The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity. *Ecological Applications*, 3, 209-212. <https://doi.org/10.2307/1941822>

Pizano, C. y Garcia, H. (2014). El bosque seco tropical en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/9333>

Richardson, D. M., Holmes, P. M., Esler, K. J., Galatowitsch, S. M., Stromberg, J. C., Kirkman, S. P., Pyšek, P., & Hobbs, R. J. (2007). Riparian vegetation: degradation, alien plant invasions, and restoration prospects. *Diversity and Distributions*, 13 (1), 126-139. <https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2006.00314.x>

Villareal, H. M., Álvarez, M., Córdoba-Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., ... y Umaña, A. M. (2004). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/31419/63.pdf>

## 2.3 RELACIÓN DEL SUELO Y LA GUADUA *ANGUSTIFOLIA KUNTH* EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO GUARAPAS DE PITALITO-HUILA

Oscar Eduardo Valbuena Calderón<sup>22</sup>

Nelly María Méndez Pedroza<sup>23</sup>

Leidy Yurani Jiménez Cruz<sup>24</sup>

### RESUMEN

---

A partir de la universalización de grandes construcciones y otros usos que se le da a la guadua en el mundo, esta se ha convertido en una especie de mayor importancia para Colombia, siendo la cuenca baja del río Guarapas, uno de los mayores proveedores de esta importante materia prima en el país. Sin embargo, la relación que existe entre las propiedades del suelo y la estructura productiva de la *Guadua angustifolia Kunth* ha sido poco analizada, lo cual genera una franja de oportunidad para determinar la relación que tienen las características de los suelos de esta zona frente a los rasgos productivos de la especie. Este estudio tuvo como propósitos principales la caracterización de suelos en rodales de guadua y el análisis de su relación con la composición y estado productivo de los mismos, de manera que se pudieran establecer condiciones de coincidencia entre las características del suelo y la oferta de guadua en la región.

---

22 Ingeniero agrónomo con Lic. en Ciencias Agrícolas. Docente, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Huila, Colombia. Especialista en Ingeniería Ambiental. MSc en Sistemas Sostenibles de Producción. oscar.valbuena@unad.edu.co

23 Doctora en Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Huila, Colombia. Líder ECAPMA Z-Sur – directora grupo de investigación Inyumacizo. nelly.mendez@unad.edu.co

24 Agrónoma, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Colombia. lyjjimenezc@unadvirtual.edu.co

Se realizaron muestreos no probabilísticos en 25 rodales, los cuales se llevaron al laboratorio para el análisis de 23 variables fisicoquímicas. Se realizó un inventario para conocer la composición por cada rodal y se estableció un diseño estadístico cuantitativo univariado, así como una correlación canónica mediante análisis multivariado para determinar las características que mayor relevancia y probabilidad presentaron en el estudio. Se encontró que existe una alta variabilidad entre los suelos por cada rodal, indicando que no existe una dependencia lineal entre sus características y el comportamiento de los rodales sobre la cuenca baja del río Guarapas de Pitalito-Huila.

**Palabras clave:** calidad de suelo, cadena productiva, recursos naturales, biodiversidad, acero verde.

## ABSTRACT

---

*Guadua angustifolia* Kunth is one of the tropical species of greater importance for Colombia, being the Guarapas river basin, one of the largest suppliers of this important material in the country. However, the relationship that exists between the soil properties and the productive structure of *Guadua angustifolia* Kunth has been little analyzed. This generates a strip of opportunity to determine the relationship between the soil characteristics and the productive traits of this specie. This study aimed for characterization of soils in guadua stands and the analysis of their relationship with their composition and productive state. Non-probabilistic samplings were carried out in 25 stands which were taken to the laboratory for analysis of 23 physical-chemical variables. An inventory was carried out to know the composition of each stand and a univariate quantitative statistical design was established, as well as a canonical correlation through multivariate analysis to determine the characteristics that presented the greatest relevance and probability in the study. It was found that there is a high variability between the soils for each stand, indicating that there is no linear dependence between their characteristics and the behavior of the stands on the lower Guarapas River Basin.

**Keywords:** soil quality, productive chain, natural resources, biodiversity, green steel.

## INTRODUCCIÓN

---

De acuerdo con el IDEAM (2015) los suelos son un componente de la naturaleza que brinda soporte y sustento al reino vegetal, siendo el resultado de factores físicos, naturales y ambientales, los cuales regulan los procesos geodinámicos, biogeoquímicos y ecológicos responsables de la estabilidad y oferta biológica, ligados en conjunto a la sostenibilidad. Por su parte las propiedades de los suelos en los rodales de guadua influyen directamente a las características y morfología de cualquier cuenca que se quiera indagar, en especial los ribereños a las fuentes hídricas, en donde es posible, mejorar sus características, aun cuando la especie se encuentre o no en aprovechamiento. Por tanto, en el marco de la identificación de las condiciones más adecuadas, según el potencial del uso del suelo y vocación natural de los mismos, se hace fundamental encontrar los puntos que mejor representen la relación suelo-Guadua para el buen comportamiento de los rodales en las diferentes áreas geográficas de la cuenca (Rodríguez y Camargo, 2009), y su entendimiento por primera vez ajustado a las condiciones específicas del área de estudio.

Las características físicas y químicas del suelo cambian por la modificación de numerosas funciones, las cuales impactan en el desarrollo de la guadua, siendo necesario evaluar la calidad del suelo con el objetivo de mejorar o conservar la fertilidad y la productividad, garantizando la sustentabilidad y como parte de las estrategias para lograrlo, resulta indispensable la selección y uso de indicadores de calidad que proporcionen información sobre los cambios generados en las propiedades edáficas como consecuencia del uso y el manejo (Vallejo Quintero, 2013). Debido a esto, se realizó un énfasis en la caracterización de los suelos asociados a los rodales de la especie *Guadua*, de manera que se representen las propiedades de los suelos frente a la estructura de los rodales, tomando como objetivo de calidad la producción y calidad de los culmos para una oferta comercial. Además, que no se cuenta con otras investigaciones que permitan saber de primera mano si se pueden aprovechar los suelos para implementar nuevas siembras en forma de cultivo.

La guadua se considera una especie protectora-productora, experimentando al igual que otras especies, una intervención no tecnificada, sumado a la falta de legislación territorial, tendiente a lograr su manejo sostenible, en donde se describa el proceso que deben seguir los propietarios y aprovechadores, aumentando así los índices de pérdida de este recurso en la cuenca, así como la tasa de erosión, disminución y desequilibrio de caudales, lo cual promueve la pérdida de la diversidad biológica (Méndez

Pedroza, 2015). Debido a esto, se requiere aumentar la atención en función de la recién creada cadena productiva de la guadua (Minagricultura, 2021) que se centra en su aplicación, este recurso natural renovable, el cual cultivado de forma sistemática con estrategias tecnológicas de bajo costo, pueden conformar cultivos perennes, cuya composición orgánica y morfológica definen a la guadua como una especie forestal de alta utilidad y aplicación. Por tanto, se determinó realizar el estudio sobre la cuenca hidrográfica del río Guarapas, dado que las cuencas hidrográficas son escenarios propios para la gestión integral sobre esta región (Méndez Pedroza, 2015; Valbuena y Noriega, 2019).

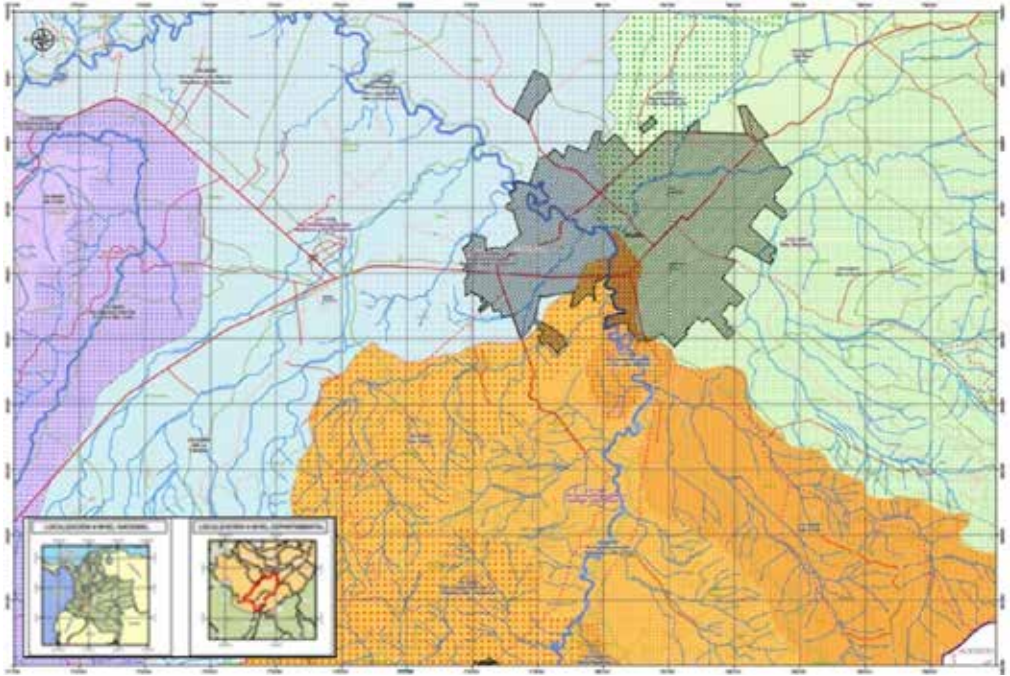
Pero ¿qué hace a esta región tan importante en la provisión de *Guadua angustifolia Kunth*? Su alta riqueza natural, por ubicación geoestratégica en las estribaciones del macizo colombiano, en un valle alto de montaña a 1 360 m s. n. m, en la base de la bifurcación de las cordilleras Central y Oriental, convierten al Valle de Laboyos en una zona de características particulares de clima, recurso hídrico, biodiversidad y suelo. Sin embargo, en la región por su vocación agrícola y especialmente cafetera, y la reglamentación de la guadua como un recurso natural renovable regulado por el Minambiente a través de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), se han enfocado los esfuerzos de investigación y desarrollo tecnológico hacia otras líneas de la producción agrícola, provocando carestía de la información que permita entender los procesos productivos que dan origen a este recurso con urgida necesidad.

Es por esta razón que se convierte en una acción imperativa, determinar las condiciones de relación existentes entre los factores de oferta ambiental y el comportamiento de los rodales de guadua. El objetivo de este estudio fue establecer la relación entre la *Guadua angustifolia Kunth* y las propiedades del suelo en la cuenca baja del río Guarapas del municipio de Pitalito-Huila.

## MATERIALES Y MÉTODOS

De acuerdo con CAM (2018) la cuenca del río Guarapas está situada al sur del departamento del Huila en jurisdicción de los municipios de Palestina y Pitalito, con un área de 70 567 hectáreas, nace en el macizo colombiano en el flanco occidental de la cordillera Oriental a una altura aproximada de 2 715 m s. n. m en la vereda Villas del Macizo en el municipio de Palestina, recorre 71,4 km antes de llegar a su desembocadura en el río Magdalena a una altura de 1 203 m s. n. m en la vereda Chillurco del municipio de Pitalito, el área de estudio se desarrolló sobre la cuenca baja del río Guarapas.

**Figura 1.** Localización zonas de estudio en la cuenca baja del río Guarapas.



**Fuente:** adaptado de CAM (2018)

Los sitios a caracterizar se identificaron mediante muestreo no probabilístico, el cual según Ander-Egg (1995), no está basada en una técnica matemática estadística, sino que depende del juicio o experiencias del investigador. En este caso se tomó como base la caracterización previa de rodales establecida en estudios de Méndez (2015), la cual cuenta con una base de datos de las áreas de rodales de guadua y la cantidad de productores dentro de la cuenca del río Guarapas. Se tomaron 25 rodales como referencia sobre la cuenca baja, teniendo en cuenta la distribución actual de los rodales y su posición respecto a las características fisiográficas de la zona.

El análisis de las 25 muestras se ejecutó mediante técnicas *in situ* y *ex situ*, las cuales fueron agrupadas en cinco bloques de cinco repeticiones con respecto a la ubicación desde la parte izquierda a derecha del flujo del río Guarapas, el cual incluye el casco urbano del municipio de Pitalito y la desembocadura en el río Guachicos. Los bloques fueron diferenciados con letras, en donde A, corresponde a la parte más alta del tramo de la cuenca evaluado sobre el cauce del río Guarapas; B, corresponde a uno de los tributarios del río Guarapas denominado Quebrada Zanjones, C corresponde a la

parte anterior del casco urbano en donde se presentaba mayor cantidad de rodales de guadua; D corresponde a aquellos rodales dentro del casco urbano sobre el cauce del río Guarapas y uno de sus tributarios denominado Quebrada Cálamo; y E corresponde a la parte más baja del tramo de la cuenca evaluado, sobre la desembocadura al río Magdalena.

Para determinar la relación entre estado de los rodales de guadua y las características del suelo, en la cuenca baja del río Guarapas se utilizaron los datos de la investigación desarrollada por Noriega (2018), relacionada con la composición de los rodales de guadua, los cuales fueron utilizados como referencias para correlacionar la información de las características del suelo, con los rodales de guadua presentes en la cuenca baja, el cual se realizó mediante conteo de guadua en sus estados de maduración, según escala de inventarios reconocidos a nivel nacional como viche, madura, sobremadura, rebrote y cortada (Minambiente, 2016).

El análisis de los datos fue ejecutado a partir de la identificación en cada uno de los sitios de muestreo, de manera que se obtuvo una caracterización de los suelos relacionados a los rodales de guadua. Se correlacionaron los datos obtenidos mediante análisis de varianza (ANOVA) con separación de medias LSD Fisher ( $p = <0,05$ ), en el programa estadístico Infostat. Seguidamente se realizó MANAVA para determinar la relación entre las características del suelo y la estructura de los rodales en cuanto a la información base levantada previamente, utilizando la técnica de Matriz de Correlación (MC) y Análisis de Componentes Principales (ACP).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

Mediante análisis multivariado se determinaron las características con mayor relevancia para identificar aquellas que presentan mayor probabilidad las diferencias encontradas en cada uno de los suelos (Tabla 1). A partir del Análisis de Componentes Principales (ACP) se logró determinar un grupo de ocho variables físicas y químicas que permiten explicar la variabilidad de los datos hasta en un 100 % al cuarto nivel de componentes, de manera que el listado de variables obtenido presenta la mayor respuesta a las condiciones del suelo más representativas para este estudio. Como se puede apreciar en la Tabla 3, se escogieron aquellos componentes con valor  $>1$ , para luego identificar las variables de más alto valor, seguidas de las que presentaron un valor absoluto con variación no mayor al 10 %.



**Tabla 1.** *Análisis de Componentes Principales (ACP) – Análisis multivariado.*

Componentes Principales	e1	e2	e3	e4
Value	11.49	5.63	4.83	3.05
Proportion	0.46	0.23	0.19	0.12
Cum. prop.	0.46	0.68	0.88	1.00
Variables	e1	e2	e3	e4
Químicas				
Aluminio (meq/100 g suelo)	0.28	-0.05	-0.04	0.17
Boro (ppm)	-0.19	0.32	0.05	0.06
Calcio (meq/100 g suelo)	0.19	0.20	-0.07	0.33
Cobre (ppm)	0.02	0.09	0.44	0.09
Manganeso (ppm)	-0.02	0.11	0.36	-0.32
Materia orgánica (%)	-0.12	0.38	-0.03	-0.11
pH (Unidades)	-0.24	0.16	0.15	0.13
Zinc (ppm)	-0.01	0.35	0.25	0.07
Físicas				
Arcilla (%)	0.29	-0.03	0.07	0.01
Capacidad de campo	0.29	0.02	0.02	0.03
Conductividad hidráulica	-0.28	-0.02	-0.11	0.12
Punto de marchitez	0.29	0.02	0.08	-0.05
Saturación (gr agua/ cm3)	0.29	-2.0E-03	0.06	-0.05

**Fuente:** los autores

Aunque el ACP permite obtener un conjunto de datos representativos, se determinó realizar un análisis de correlación, como lo realizado por Valbuena (2014), de manera que se identificara la redundancia de los datos, encontrando que las variables Capacidad de campo, Conductividad hidráulica, Punto de marchitez y Saturación, se encontraban con probabilidades más altas, lo cual se explica debido a que estos datos fueron analizados mediante calculadora hidráulica descrita en la fase metodológica, generando ruido estadístico para el análisis de correlación (Calderón, 2002), como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Matriz de Correlación (MC)

	Al	B	P	Ca	Mg	Na	K	CICE	Ar	A	L	Tex	pH	Cu	Fe	Mn	Zn	MO	N	PM	CC	DA	Sat	CE	
B	0,206																								
P	0,577	0,204																							
Ca	0,166	0,993	0,728																						
Mg	<u>0,009</u>	0,435	0,806	<u>0,046</u>																					
Na	0,377	0,727	0,590	0,085	0,214																				
K	0,581	0,932	0,493	0,532	0,521	0,287																			
CICE	0,252	0,909	0,591	0,132	0,153	0,251	0,114																		
Ar	0,052	0,433	0,389	0,168	<u>0,047</u>	0,308	0,183	<u>0,035</u>																	
A	<u>0,020</u>	0,228	0,420	0,291	0,057	0,326	0,311	0,232	<u>0,036</u>																
L	0,728	0,400	0,977	0,710	0,946	0,982	0,702	0,396	0,833	0,616															
Tex	0,704	0,965	0,224	0,631	0,672	0,474	0,543	0,592	0,805	0,814	0,207														
pH	0,110	<u>0,047</u>	0,090	0,677	0,243	0,979	0,613	0,388	0,127	0,113	0,859	0,661													
Cu	0,981	0,709	0,497	0,871	0,945	0,277	0,642	0,852	0,938	0,730	0,282	0,240	0,547												
Fe	0,434	0,654	0,940	0,367	0,369	0,939	0,656	0,543	0,558	0,816	0,446	0,872	0,491	0,159											
Mn	0,606	0,676	0,880	0,553	0,560	0,743	0,349	0,888	0,867	0,956	0,609	0,946	0,666	0,178	<u>0,011</u>										
Zn	0,809	0,169	0,358	0,545	0,945	0,133	0,356	0,637	0,930	0,998	0,840	0,689	0,328	0,175	0,415	0,318									
MO	0,344	<u>0,036</u>	0,578	0,909	0,588	0,690	0,522	0,668	0,801	0,432	0,167	0,523	0,273	0,929	0,741	0,623	0,196								
N	0,384	<u>0,042</u>	0,584	0,852	0,639	0,667	0,513	0,618	0,849	0,458	0,142	0,515	0,301	0,966	0,805	0,675	0,204	<u>0,000</u>							
PM	0,052	0,319	0,395	0,307	0,087	0,281	0,190	0,178	<u>0,027</u>	<u>0,002</u>	0,696	0,919	0,148	0,673	0,935	0,803	0,866	0,580	0,605						
CC	<u>0,015</u>	0,290	0,442	0,206	<u>0,031</u>	0,283	0,273	0,143	<u>0,012</u>	<u>0,001</u>	0,787	0,891	0,116	0,824	0,696	0,952	0,963	0,536	0,572	<u>0,003</u>					
DA	0,316	0,265	0,350	0,914	0,492	0,608	0,356	0,703	0,343	0,104	0,243	0,808	0,299	0,395	0,485	0,371	0,962	0,397	0,384	<u>0,090</u>	<u>0,177</u>				
Sat	<u>0,038</u>	0,257	0,346	0,321	0,079	0,341	0,229	0,185	<u>0,023</u>	<u>0,001</u>	0,703	0,953	0,104	0,766	0,856	0,887	0,976	0,516	0,542	<u>0,000</u>	<u>0,002</u>	<u>0,099</u>			
CE	0,101	0,325	0,319	0,426	0,160	0,339	0,148	0,211	<u>0,047</u>	<u>0,009</u>	0,671	0,989	0,156	0,642	0,921	0,659	0,859	0,611	0,628	<u>0,001</u>	<u>0,016</u>	0,055	<u>0,003</u>		
AD	0,548	0,838	0,706	0,241	0,378	0,536	0,325	<u>0,040</u>	0,212	0,631	0,092	0,358	0,587	0,448	0,319	0,595	0,796	0,443	0,392	0,568	0,470	0,759	0,559	0,622	

De acuerdo con lo reportado por Noriega (2018), los rodales de la cuenca baja del río Guarapas tienen una composición con partes iguales de guadua verde y madura de 21,1 %. Se observa un incremento de guadua madura con un 21,4 %, disminución en cantidad de guadua cortada 9 % y finalmente se encontró 13,8 % de guadua en rebrote como se muestra en la Tabla 3. Así mismo, se realiza una comparación con datos obtenidos previamente por Méndez (2015), con el inventario de Noriega (2018) observándose una disminución de las variables: guadua verde 10,3 %; guadua madura 29 %. Se observó un aumento de la guadua sobremadura con 29,8 % probablemente debido al bajo aprovechamiento.

**Tabla 3.** Comparación de resultados de composición de los rodales de guadua (%)

Variable	Inventario Méndez (2015)	Inventario Noriega (2018)
Guadua verde	31,4 %	21,1 %
Guadua madura	50,4 %	21,4 %
Guadua sobremadura	4,9 %	34,7 %
Guadua cortada	-	9 %
Rebrotos	13,3 %	13,8 %

*Nota.* Noriega (2018).

Para determinar la relación existente entre las características del suelo y el estado de los rodales de guadua, se realizó un análisis de correlación canónica mediante el programa Infostat 2019.

**Tabla 4.** Correlaciones canónicas

Correlaciones canónicas				
	L(1)	L(2)	L(3)	L(4)
R	0,84	0,8	0,54	0,5
R <sup>2</sup>	0,71	0,65	0,29	0,25
Lambda de Wilks	49,61	28,36	10,73	4,85
gl	36	24	14	6
p-valor	0,07	0,25	0,71	0,56

Del procedimiento para analizar la correlación canónica mediante el software estadístico resultaron cuatro puntuaciones para obtener los índices, de los cuales se seleccionó el de mayor significación e interés para la investigación. Por tanto, se consideró la puntuación L (1), pero aun así, lambda de Wilks no fue significativo ( $p > 0,05$ ) y las

puntuación L(2), L(3) y L(4) no fueron consideradas, por la baja correlación canónica, el valor alto de lambda de Wilks y la no significación estadística.

**Tabla 5.** *Matriz de Correlación (MC)*

Matriz de correlación									
	Al (meq/100 g suelo)	Boro (ppm)	Calcio (meq/100 g suelo)	Arci- lla (%)	pH (Uni- da- des)	Cobre (ppm)	Man- gane- so (ppm)	Zinc (ppm)	Ma- teria Orgá- nica (%)
No. VERDE	0,04	0,06	-0,1	0,31	-0,2	0,06	0,17	0,22	0,27
No. MADURA	0,14	-0,06	-0,13	0,51	-0,24	0,44	0,35	0,22	-0,1
No. SOBRE- MADURA	-0,39	0,25	-0,13	-0,14	0,25	0,38	0,43	0,18	0,12
No. REBROTE	-0,18	0,13	-0,38	0,08	-0,05	0,38	<u>0,68</u>	0,26	0,22

En la Tabla 5, se observan los valores de correlación que existe entre las variables predictoras (independiente) y variables criterio (dependiente), las cuales no presentan una relación directa entre el comportamiento de las variables químicas del suelo con el estado de los rodales, debido a que son muy dispersas, la variable que presenta menor variabilidad de correlación es el n.º de guadua sobremadura en relación con la variable Materia orgánica con el (0,1 %) y la variable que más cercana está y se correlaciona es el n.º de rebrotes con la variable manganeso en un (0,68 %), siendo lejos el índice del 100 % para que haya alta correlación.

**Tabla 6.** *Coefficientes de las combinaciones lineales*

Coeficientes de las combinaciones lineales				
	L(1)	L(2)	L(3)	L(4)
Aluminio (meq/100 g suelo)	0,14	-0,3	-0,69	-1,44
Boro (ppm)	-0,08	0,14	0,11	0,32
Calcio (meq/100 g suelo)	0,22	-0,3	0,12	0,83
Arcilla (%)	<u>-0,89</u>	-0,64	0,4	-0,11

Coeficientes de las combinaciones lineales				
pH (unidades)	-0,69	-1,04	-1,21	-1,06
Cobre (ppm)	-0,21	0,3	0,12	0,88
Manganeso (ppm)	-0,3	0,4	-0,54	-0,49
Zinc (ppm)	-0,21	0,34	0,57	-0,51
Materia Orgánica (%)	<u>0,83</u>	0,35	0,44	0,64
No. verde	0,67	0,01	-1,03	0,6
No. madura	-1,37	-0,56	-0,18	-0,21
No. sobremadura	-0,52	-0,27	0,14	1,21
No. rebrote	0,43	1,41	0,39	-0,84

En la Tabla 6, se muestra el coeficiente de las combinaciones lineales teniendo en cuenta únicamente la combinación 1 (L1), debido a que son los de mayor significación e interés para la Investigación, ya que se tiene una explicación de hasta el 49 % de la correlación de los datos, y aunque no corresponde a un valor significativo validado por el análisis de correlación canónico, puesto que el valor de  $p > 0,05$ ; se presenta un análisis para tratar de identificar las relaciones más estrechas entre las variables independientes (variables de suelo medidas en el análisis y priorizadas a través de ACP y matriz de correlación lineal), y las variables dependientes (estado de composición-inventario de las unidades evaluadas).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Existe una alta variabilidad entre los resultados de características de suelo por cada rodal, indicando que no existe una dependencia lineal entre las características del suelo y el comportamiento de los rodales, debido a que son indiferentes los resultados del suelo a la composición que tiene los rodales sobre la cuenca baja del río Guarapas.

El comportamiento de los rodales es indiferente al tipo de suelo dentro de los 25 sitios evaluados en la cuenca baja del río Guarapas. Así mismo, la calidad de los suelos asociados a los rodales de *Guadua angustifolia Kunth* no influye sobre su desarrollo y características funcionales en la cuenca baja del río Guarapas.

Es necesario crear mayor investigación científica relacionada con los tipos de suelos necesarios para el desarrollo de esta especie en la región sur del Huila y aumentar el número de muestras tomadas en nuevos proyectos de caracterización de suelos asociados a rodales de guadua sobre la cuenca del río Guarapas. Así mismo, se recomienda, caracterizar suelos sobre parte alta y media de la cuenca para contribuir con conocimiento a productores de guadua en la zona sur del Huila sobre las características físicas y químicas de los suelos requeridos para el desarrollo de la especie. Finalmente, es necesario generar nuevos sistemas de aprovechamiento del cultivo que apalanque a productores disminuyendo afectaciones a los rodales de guadua y ofrecer capacitación a propietarios y productores de guadua sobre cuál de las fases de la guadua es apta para su aprovechamiento.

## AGRADECIMIENTOS

---

Agradecemos especialmente a la UNAD por el tiempo ofertado y el impulso por la investigación aplicada, al grupo de investigación Inyumacizo, a la CAM, al Laboratorio de Suelos AMBILAB SAS y a los productores que hicieron posible el desarrollo de este trabajo.

## REFERENCIAS

---

Ander-Egg, E. (1995). *Técnicas de investigación social* (4.ª ed.). Ateneo.

Angelini, M. (2012). *Mapeo digital de suelos aplicado a la agricultura de precisión*. [http://www.agriculturadeprecision.org/descargaltem.asp?item=/11voCursoAgPrec/Dia2/SalonB/Angelini\\_MapeoDigitalDeSuelos.pdf](http://www.agriculturadeprecision.org/descargaltem.asp?item=/11voCursoAgPrec/Dia2/SalonB/Angelini_MapeoDigitalDeSuelos.pdf)

Asamblea Departamental del Huila. (2016, 10 de junio). Gobernación del Huila. [http://www.huila.gov.co/documentos/Planeacion/Plan\\_Desarrollo\\_2016/PLAN\\_DE\\_DESARROLLO\\_EL\\_CAMINO\\_ES\\_LA\\_EDUCACION\\_2016.pdf](http://www.huila.gov.co/documentos/Planeacion/Plan_Desarrollo_2016/PLAN_DE_DESARROLLO_EL_CAMINO_ES_LA_EDUCACION_2016.pdf)

Barrios, R. J. (2006). *Diagnóstico socioeconómico del municipio de Quezaltepeque; evaluación del efecto de la utilización de cuatro dosis de copolímero de acrilamida sobre el crecimiento de la plantilla de Bambú (Guadua angustifolia kunth) y el ahorro de agua (H<sub>2</sub>O)*.

<http://www.repositorio.usac.edu.gt/8961/1/Juan%20Pablo%20Barrios%20Recinos.pdf>

Cadena, D. y Da Silva, M. (2016). *Manual práctico: mapeo digital de suelos*. Centro Internacional para Agricultura (CIAT). [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos\\_ciat/biblioteca/Manual\\_de\\_Mapeo\\_de\\_Suelos\\_Haiti\\_Espanol\\_FINAL.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/biblioteca/Manual_de_Mapeo_de_Suelos_Haiti_Espanol_FINAL.pdf)

Calderón, L. (2002). *Triángulo textural calculador de propiedades hidráulicas*. [http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis\\_Fisico\\_de\\_Suelos/Calculador%20Textural.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_Fisico_de_Suelos/Calculador%20Textural.htm)

CAM. (2018). *Pomch río Guarapas*. <http://www.cam.gov.co/recurso-hidrico/pomch.html>

Carvajal, S. A. (2019). *Análisis multivariado de factores fenotípicos, fisiológicos y de manejo que inciden en la producción lechera en la Hacienda la Ovejería*. <http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/766/1/349%20An%c3%a1lisis%20multivariado%20de%20factores%20fenot%c3%adpico%20fisiol%c3%b3gicos%20y%20de%20manejo%20que%20inciden%20en%20la%20producci%c3%b3n%20lechera%20en%20la%20Hacienda%20La%20Ovejeria>

Castaño, F. (2001). *Industrialización sostenible de la guadua*. [http://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/Pnacx697.pdf](http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnacx697.pdf)

Chará, J., Giraldo, L. P., Chará, A. M. y Pedraza, G. X. (2010). *Beneficios de los corredores ribereños de Guadua angustifolia en la protección de ambientes*. [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8443/Beneficios\\_de\\_loscorredores\\_riberenos2.pdf](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8443/Beneficios_de_loscorredores_riberenos2.pdf)

Cobos, F. J. y León, R. X. (2007). *Propiedades físicas-mecánicas de la Guadua angustifolia Kunth y aplicación al diseño de baterías sanitarias del IASA II*. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/1562/1/T-ESPE-025178.pdf>

Colín, G., Fernández, D., Mario, R., Martínez, M., Ríos, J. D., Sánchez, P., Rubio, E. y Ibáñez, L. A. (2017). *Clasificación digital de suelos a través de covariables ambientales de la cuenca del río Mixteco*. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v35n4/2395-8030-tl-35-04-00281.pdf>

Córdoba, M., Paccioretti, P., Bruno, C., Aguata, F. y Balzarini, M. (2017). *FastMapping: software para mapeo de variabilidad en dominios espaciales continuos*. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/62829/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/62829/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1)

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena [CAM]. (2009). *Pomch río Guarapas*. <http://www.cam.gov.co/recurso-hidrico/pomch/category/81-rio-guarapas.html>

Ecohabitar. (2013). *La guadua: una maravilla natural de grandes bondades y prometedor futuro*. <http://www.ecohabitar.org/la-guadua-una-maravilla-natural-de-grandes-bondades-y-prometedor-futuro/>

FAO. (2018). *El suelo*. Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas. <http://www.fao.org/docrep/006/W1309S/w1309s04.htm>

FAO. (2019). *Clasificación de Suelos*. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/es/>

Fundación Produce Sinaloa. (2014). *Técnicas de caracterización de suelos y abonos orgánicos*. [https://www.researchgate.net/profile/Jaime\\_Herran/publication/287982212\\_Tecnicas\\_de\\_caracterizacion\\_de\\_suelos\\_y\\_abonos\\_organicos/links/567ae58208ae197583812343/Tecnicas-de-caracterizacion-de-suelos-y-abonos-organicos.pdf?origin=publication\\_detail](https://www.researchgate.net/profile/Jaime_Herran/publication/287982212_Tecnicas_de_caracterizacion_de_suelos_y_abonos_organicos/links/567ae58208ae197583812343/Tecnicas-de-caracterizacion-de-suelos-y-abonos-organicos.pdf?origin=publication_detail)



García, C. y Félix, J. A. (2014). *Técnicas de caracterización de suelos y abonos orgánicos*. Fundación Produce Sinaloa. [https://www.researchgate.net/profile/Jaime\\_Herran/publication/287982212\\_Tecnicas\\_de\\_caracterizacion\\_de\\_suelos\\_y\\_abonos\\_organicos/links/567ae58208ae197583812343/Tecnicas-de-caracterizacion-de-suelos-y-abonos-organicos.pdf?origin=publication\\_detail](https://www.researchgate.net/profile/Jaime_Herran/publication/287982212_Tecnicas_de_caracterizacion_de_suelos_y_abonos_organicos/links/567ae58208ae197583812343/Tecnicas-de-caracterizacion-de-suelos-y-abonos-organicos.pdf?origin=publication_detail)

Giraldo, H. E. (s.f.). *Bienes y servicios ambientales de la guadua en Colombia (Guadua angustifolia Kunth)*. [http://www.sigguadua.gov.co/sites/default/files/archivos/bienes\\_y\\_servicios\\_guadua.pdf](http://www.sigguadua.gov.co/sites/default/files/archivos/bienes_y_servicios_guadua.pdf)

Guadua Bamboo. (2015). *Guadua Bamboo Rhizome Morphology*. <https://www.guaduabamboo.com/forum/guadua-rhizome-morphology>

IDEAM. (2012). *propuesta para la gestión integral ambiental del recurso suelo (giars)*. [http://www.ideam.gov.co/documents/11769/153422/20121210\\_Propuesta\\_Programa\\_de\\_M%26SDS\\_Nov\\_23\\_12\\_v6.pdf/04ac8b73-303d-4d09-b2f5-9dc8b81b4f54](http://www.ideam.gov.co/documents/11769/153422/20121210_Propuesta_Programa_de_M%26SDS_Nov_23_12_v6.pdf/04ac8b73-303d-4d09-b2f5-9dc8b81b4f54)

IDEAM. (2015). *Caracterización de los suelos y las tierras*. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005192/macizo/pdf/Capitulo4.pdf>

IEC. (2018). *Finalidad de los mapas de suelos*. <https://www.iec.cat/mapasols/Cas/Finalitat.asp?Grup=B&Opcio=7>

INTA. (2015). *La importancia de la utilización de los mapas de suelos (primera parte)*. <https://inta.gob.ar/noticias/la-importancia-de-la-utilizacion-de-los-mapas-de-suelos-primera-parte>

Jiménez, E., Medina, L. y Sánchez, B. (2011). *Diagnóstico de los suelos de la cuenca hidrógrafica del río Valdivia*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/16048/DIAGNOSTICO%20DE%20%20LOS%20SUELOS%20DE%20LA%20CUENCA%20HIDROGRAFICA%20DEL%20RIO%20VALDIVIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Londoño, X., Camayo, G., Riaño, N. y López, Y. (2018). *Caracterización anatómica del culmo de Guadua angustifolia Kunth (Poaceae: Bambusoideae)*. Caracterización anatómica del culmo de Guadua angustifolia Kunth.

Minagricultura. (2021). Resolución 000009 de 2021. <https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Resoluciones/RESOLUCI%C3%93N%20000009%20DE%202021.pdf>

Minambiente. (2011). *Decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974*. [http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto\\_2811\\_de\\_1974.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_2811_de_1974.pdf)

Minambiente. (2016). Resolución 1740. <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/50-resolucion-1740.pdf>

Méndez, P. N. (2015). Diagnóstico de guaduales y propuesta de un modelo de ordenamiento forestal sostenible productivo para el manejo e industrialización de la guadua (*Guadua angustifolia Benth*), con participación comunitaria en la cuenca hidrográfica del río Guarapas, zona sur. <http://ucav.odilotk.es/opac?id=00045859>—

Noriega, M. D. (2018). *Caracterización de servicios ecosistémicos de la Guadua angustifolia Kunth en la cuenca baja del río Guarapas en Pitalito-Huila*. <https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/20985/3/1083918051.pdf>

Pineda, M. C., Elizalde, G. y Vilorio, J. (2011). *Relación suelo-paisaje en un sector de la cuenca del río Caramacate, Aragua, Venezuela*. [https://www.researchgate.net/profile/Maria\\_Pineda7/publication/282731717\\_Relacion\\_suelo-paisaje\\_en\\_un\\_sector\\_de\\_la\\_cuenca\\_del\\_rio\\_Caramacate\\_Aragua\\_Venezuela/links/56aa0bd808aeaeb4cefadea1/Relacion-suelo-paisaje-en-un-sector-de-la-cuenca-del-rio-Caramacat](https://www.researchgate.net/profile/Maria_Pineda7/publication/282731717_Relacion_suelo-paisaje_en_un_sector_de_la_cuenca_del_rio_Caramacate_Aragua_Venezuela/links/56aa0bd808aeaeb4cefadea1/Relacion-suelo-paisaje-en-un-sector-de-la-cuenca-del-rio-Caramacat)

Rienzo, J. D., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L. y Robledo, C. (2019). InfoStat. <http://www.infostat.com.ar>

Rodríguez, J. A. y Camargo, J. C. (2009). Erosión y escorrentía: indicadores de respuesta temprana del suelo a distintas coberturas en la zona cafetera de Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente*, 25-31. [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7301/RRNA\\_No58\\_Completa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7301/RRNA_No58_Completa.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Sigguadua. (2018). *Bienes y servicios ambientales de la guadua (Guadua angustifolia Kunth)*. [http://sigguadua.gov.co/sites/default/files/archivos/bienes\\_y\\_servicios\\_guadua.pdf](http://sigguadua.gov.co/sites/default/files/archivos/bienes_y_servicios_guadua.pdf)

USDA. (2019). *Los órdenes en la taxonomía de suelos del USDA*. <https://sites.google.com/site/cienciadelsueloutmach/LA-GNESIS-DE-LOS-SUELOS/los-ordenes-en-la-taxonomia-de-suelos-del-usda>

Valbuena, O. E. (2014). *Evaluación de la calidad de suelo en plantaciones de Coffea arabica L. var. Caturra, en tecnologías de producción intensiva y tradicional en Pitalito-Huila*. Pitalito, Colombia.

Valbuena, C. O. (2006). *Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas de café orgánico y convención*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0834e/A0834e.pdf>

Valbuena, O. (2017). *Los suelos y la guadua en la cuenca baja del río Guarapas en Pitalito Huila*. *Agronomía Mesoamericana*, 21-29.

Vallejo, Q. V. (2013). *Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles*. <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v16n1/v16n1a06.pdf>

Vélez, S. (2006). *Símbolo y búsqueda de lo primitivo*. [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93442/06\\_ESD\\_Cos\\_pp\\_35\\_81.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93442/06_ESD_Cos_pp_35_81.pdf)

Zamudio, S. A., Carrascal, C. C., Pulido, R. J., Gallardo, E. A., Vargas, A., y Vera, R. D. (2006). *Métodos analíticos del laboratorio de suelos* (6.ª ed.). IGAC.

## 2.4 BALANCE DE NUTRIENTES EN LOS SUELOS ASOCIADOS A LA *GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH* EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARAPAS

Gustavo Adolfo Ramírez Córdoba<sup>25</sup>  
William Ignacio Montealegre Torres<sup>26</sup>

---

25 Ingeniero Agroforestal. Docente, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Huila, Colombia. MSc. en Sistemas Sostenibles de Producción. [gustavo.ramirez@unad.edu.co](mailto:gustavo.ramirez@unad.edu.co)

---

26 Ingeniero Forestal, Magíster en Administración de Organizaciones, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Huila, Colombia. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Colombia. [william.montealegre@unad.edu.co](mailto:william.montealegre@unad.edu.co)

## RESUMEN

---

En la cuenca hidrográfica del río Guarapas, la mayoría de los suelos son de vocación agrícola y actualmente se encuentran degradados debido a las malas prácticas agrícolas producto de la intervención antrópica, así como por la acción del agua y el aire, alterando las condiciones químicas y físicas del suelo. En cultivos de guadua, el aporte de materia orgánica al suelo y su influencia en el balance de nutrientes carece de información. En esta investigación se analizó composición química de la *Guadua angustifolia Kunth*, determinando nitrógeno total (NT), grasa, fibra y fósforo, así como la concentración de Ca, K, Na, Mg, Cu, Mn, Fe y Zn mediante espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados obtenidos indicaron 7,56 % de grasa y 26,9 % en fibra. Dentro de los macronutrientes se encontró 4,44 % de N, 0,07 % de P, 0,80 % de K, 0,79 % de Ca, 0,56 % Mg y para los micronutrientes se encontró un 0,02 Mg/g de Cu, 0,15 Mg/g de Mn, 1,08 Mg/g de Fe y 0,05 Mg/g de Zn. Los resultados permiten demostrar que, en las condiciones agroclimáticas asociadas a la cuenca hidrográfica del río Guarapas, se evidencia una gran diferencia en las precipitaciones media anual de 1700 mm, que influyen de forma directa en el estudio potencial de la hoja de la *Guadua angustifolia Kunth* y la formación de nutrientes a partir de la materia orgánica fresca como es el caso del nitrógeno. Por lo cual, se puede considerar la hojarasca como una fuente importante para el mejoramiento de los suelos en su composición química, siendo utilizada como materia prima para la elaboración de abonos orgánicos tipo compost o como abonos verdes.

**Palabras clave:** agroclimatología, agronomía, biomasa, edafología de los suelos, materia orgánica.

## ABSTRACT

---

In the Guarapas River Basin, most of the soils are agricultural and are currently degraded due to poor agricultural practices as a result of human intervention, as well as the action of water and air, altering the chemical and physical soil conditions. In guadua crops, the organic matter contribution from the soil and its influence on the nutrient balance has been little studied. In this study, the chemical composition of *Guadua angustifolia* Kunth was analyzed, determining Total Nitrogen (NT), fat, fiber and Phosphorus, as well as the concentration of Ca, K, Na, Mg, Cu, Mn, Fe and Zn through atomic absorption spectrophotometry. The results obtained indicated a 7.56% fat and 26.9% fiber. Regarding the macronutrients, 4.44% of N, 0.07% of P, 0.80% of K, 0.79% of Ca, 0.56% Mg were found. For the micronutrients, 0.02 Mg/g of Cu, 0.15 Mg/ of Mn, 1.08 Mg/g of Fe and 0.05 Mg/g of Zn were found. The results allow demonstrating that in the agroclimatic conditions associated with the Guarapas River Basin, a great difference is evidenced in the average annual rainfall of 1700 mm, which directly influences the potential study of the *Guadua angustifolia* Kunth leaf and the formation of nutrients from fresh organic matter such as Nitrogen. Therefore, litter can be considered as an important source for the improvement of soils in its chemical composition, being used as a raw material to produce compost-type organic fertilizers or as green manures.

**Keywords:** agroclimatology, agronomy, biomass, soil edaphology, organic matter.

## INTRODUCCIÓN

---

Dentro del suelo ocurren incontables procesos permanentes que se han venido formando tanto en su parte física y biológica como en su composición química. Esta última consta de procesos invisibles ante el ojo humano pero que son indispensables para el desarrollo de las plantas. Dichas propiedades químicas como el pH, la fertilidad, macro y micronutrientes, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el carbono orgánico (CO), están directamente ligados a la materia orgánica (MO) (Abdollahi & Munkholm, 2014), la cual se forma mediante el proceso de descomposición de seres vivos tanto animales como vegetales (Havlin et al., 2014). Razón por la cual es muy importante atender las necesidades que tiene el suelo, dado que es un sistema vivo heterogéneo y dinámico (Perea et al., 2021), que gracias a la acción de agentes naturales como el agua y el viento se ha venido degradando al transcurrir de los años. Así mismo, los daños causados al suelo por actividades antrópicas relacionadas con labores agrícolas y pecuarias (Guerrero, 2020), han generado pérdida de la fertilidad por la alteración de toda la composición química, reflejándose en la productividad y la rentabilidad (IDEAM y UDCA, 2015).

La cuenca hidrográfica del río Guarapas ubicada en el municipio de Pitalito en el departamento del Huila al sur de Colombia, aporta 82 toneladas/has. de biomasa de la especie *Guadua angustifolia* Kunth (Molina Calderon y Montealegre Rojas, 2018) y posee valiosos elementos para el mejoramiento de las propiedades químicas, tal como lo muestra Mora (2006), quien afirma la importancia de la materia orgánica compostada, para el mejoramiento de las concentraciones de carbono, nitrógeno y la retención de nutrientes, así como la disponibilidad de fósforo para las plantas, según (Manzur et al., 1983).

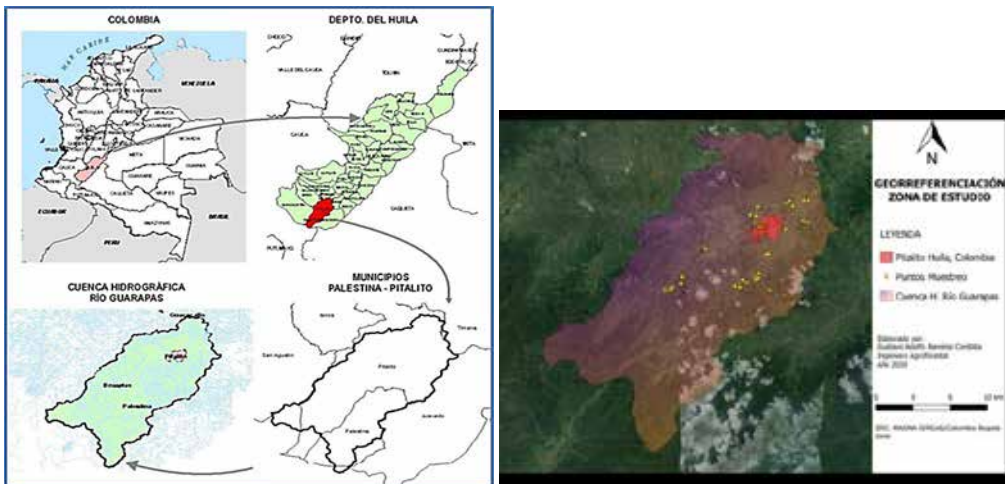
De acuerdo con lo anterior, el objetivo de esta investigación es determinar la composición química de las hojas de guadua (*Guadua angustifolia* Kunth), con el fin de reconocer este importante servicio ecosistémico de aporte y balance de nutrientes en los suelos asociados a la cuenca hidrográfica del río Guarapas.

# MATERIALES Y MÉTODOS

## ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se desarrolló en la cuenca hidrográfica del río Guarapas, situada al sur del departamento del Huila en jurisdicción de los municipios de Palestina y Pitalito, con un área de 70 567 hectáreas (Figura 1). La cuenca nace en el macizo colombiano en el flanco occidental de la cordillera Oriental una altura aproximada de 2 715 m s. n. m en la vereda Villas del Macizo en el municipio de Palestina, recorre 71,4 km antes de llegar a su desembocadura en el río Magdalena a una altura de 1 203 m s. n. m en la vereda Chillurco del municipio de Pitalito (Méndez, 2014).

**Figura 1.** a) Localización de la cuenca hidrográfica del río Guarapas y b) Georreferenciación de los puntos de muestreo de *Guadua angustifolia* Kunth en el municipio de Pitalito.



**Fuente:** POMCH (2009); Ramírez y Guaca (2021).

La *Guadua angustifolia* Kunth está distribuida a lo largo de la cordillera Central y zona céntrica del país, siendo sus áreas naturales y plantadas alrededor de 36 181 Has., de las cuales 31 286, están en el eje cafetero, Tolima y Valle del Cauca (Castaño, 2004). Las variables óptimas para el cultivo de *Guadua angustifolia* Kunth son presentadas en la Tabla 1:



**Tabla 1.** Variables climatológicas óptimas para la “*Guadua angustifolia* Kunth

Hábitat	De 0 a 2 200 m de altitud sobre el nivel del mar	
Precipitación	Superior a 1 200 mm/año	
Humedad relativa	75 % - 85 %	
Condiciones de desarrollo óptimo	Altitud	900 – 1600 m s. n. m
	Precipitación	2000 – 2500 mm/año
	Temperatura	20 °C – 26 °C

**Nota.** González y Díaz (2003).

## TIPO DE ESTUDIO

La presente investigación es de carácter cuantitativo, donde se estimó la cantidad de: fibras, grasas, nitrógeno total (NT), fósforo (P), calcio (Ca), potasio (K), sodio (Na), magnesio (Mg), cobre (Cu), manganeso (Mn), hierro (Fe) y zinc (Zn) con el fin de determinar la composición química de los suelos asociados a los bosques de *Guadua angustifolia* Kunth sobre la cuenca hidrográfica del río Guarapas en el municipio de Pitalito, Huila.

## RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS

La obtención de datos recolectados en campo de material vegetal se hizo mediante la tabulación de la información recolectada para cada una variable (grasas, fibras, nitrógeno total, micronutrientes y macronutrientes), con el fin de obtener la información de forma clara y organizada.

**Tabla 2.** Predios identificados para la recolección del material vegetal de “*Guadua angustifolia* Kunth”

Número colección	Propietario	Finca	Vereda	Municipio	Cobertura	Tipo de ecosistema
PA001	Pedro	Los Andes	Los Andes	Pitalito	G. angustifolia	Bosque natural
MO004	Ñañez	Bruselas	Bruselas Centro	Pitalito	G. angustifolia	Bosque natural
MO013	Empitalito	Bocatoma	La Palma	Pitalito	G. angustifolia	Bosque natural
MO017	Diva Bermeo	Bruselas	Bruselas	Pitalito	G. angustifolia	Bosque natural

Número colección	Propietario	Finca	Vereda	Municipio	Cobertura	Tipo de ecosistema
TI002	Miguel Valderrama - Carlos Mahecha	La Esmeralda	Guamal	Pitalito	G. angustifolia	Bosque natural
TI012	Campanario	Campanario	Topacio	Pitalito	G. angustifolia	Bosque natural
TI017	Anderson	Agua Dulce	Agua Dulce	Pitalito	G. angustifolia	Bosque natural
SA001	Antonio Peña	Regueros	Regueros	Pitalito	G. angustifolia	Bosque natural
CHIO17	Pastor Meneses	Cieneguita	Villa de San Roque	Pitalito	G. angustifolia	Bosque natural
URB002	Antonio Peña	Antonio Peña	Agua Blanca	Pitalito	G. angustifolia	Bosque natural
URB004	PTAR	PTAR Pitalito	Pitalito	Pitalito	G. angustifolia	Bosque natural
URB013	Ader Castro	Villa Isabella	Vereda el Maco	Pitalito	G. angustifolia	Bosque natural

Las muestras de *Guadua angustifolia* Kunth fueron recolectadas utilizando el método directo o destructivo, posteriormente fueron secadas por 48 horas a 50° C. Una vez secas se tomaron completamente al azar doce muestras de hoja de guadua para realizar la metodología propuesta en el presente estudio de investigación (ver anexos 1 al 6).

## MUESTRA:

- Se tomó muestra de hoja de *Guadua angustifolia* Kunth en base seca.
- Se clasificó hojas de ramas.
- Se trituró en molino Thomas Científic.
- Se seleccionó en tamiz de 1mm.
- Se pesa en balanza analítica Radwag AS 220-R2.

Mediante el método de extracción *Randall* se determinó grasa (Randall, 1974) con equipo de extracción *VelpScientifica*. Mediante el método *Van Soest* se determinaron fibras (Soest, 1963) utilizando el equipo de digestión *VelpScientifica*, con la metodología Kjeldahl (AOAC, 1990). Con el equipo de digestión y destilación *Kjeldahl VelpScientifica* se calculó el contenido de nitrógeno total (NT). fósforo (P) fue determinado por el método de colorimetría y por último se precisó el contenido de ocho minerales:

calcio (Ca), potasio (K), sodio (Na), magnesio (Mg), cobre (Cu), manganeso (Mn), hierro (Fe) y zinc (Zn)) mediante la metodología de espectrofotometría de absorción atómica (Razmilic, 1994).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las muestras se tomaron del proyecto: “Cuantificación de biomasa aérea utilizando medidas dasométricas para la guadua (*Guadua angustifolia Kunth*) en la cuenca hidrográfica del río Guarapas en el municipio de Pitalito Huila, como aporte a la cuantificación de captura de carbono orgánico en guaduales” desarrollado por Ramírez et al. (2018).

**Tabla 3.** Resumen elementos mayores encontrados en la hoja de “*Guadua angustifolia Kunth*”

Elemento	%					
	N	P	K	Ca	Mg	Na
Cuenca hidrográfica río Guarapas						
	4,44	0,07	0,80	0,79	0,56	0,00
Marín et al. (2011)	0,99	0,20	0,43	0,89	0,11	-

De la Tabla 3, se puede inferir que la hoja de la *Guadua angustifolia Kunth* en base seca, contiene los minerales nitrógeno, potasio y magnesio, en concentraciones muy por encima a las encontradas en plantaciones tecnificadas del campo experimental de Yaracuy Venezuela (Marín et al., 2011). Por su parte el fósforo con 0,07 y el calcio con 0,79 están en menor cantidad. Estas diferencias pueden estar asociadas a las condiciones climáticas, las cuales influyen de forma directa en la descomposición de la materia orgánica, definiendo la velocidad de descomposición, la formación de nutrientes a partir de la materia orgánica fresca como es el caso del nitrógeno (MAG et al., 2013).

La formación del suelo en el municipio de Pitalito y la cuenca hidrográfica del río Guarapas son aluviales y fluvio-lacustres jugando un papel fundamental en donde se localizan y desarrollan múltiples actividades. Por esta razón se considera el suelo como un recurso multifuncional, siendo soporte y fuente de nutrientes para las plantas y albergue de biodiversidad (López-Falcón, 2011).

Otro factor de inferencias para tales discrepancias está relacionado con la distribución de los guaduales en la cuenca, los cuales se encuentran dispuestos en rodales, es decir a libre crecimiento, mientras que los comparativos son guaduales dispuesto en cultivos tecnificados (Marín et al., 2011).

**Tabla 4.** Resumen elementos menores encontrados en la hoja de “*Guadua angustifolia* Kunth”.

Elemento	Concentración en Mg/g			
	Cu	Mn	Fe	Zn
	0,02	0,15	1,08	0,05

Por su parte la Tabla 4, muestra el contenido de elementos menores como lo son: cobre, manganeso, hierro y zinc, los cuales son minerales que tienen su origen directamente en la formación del suelo a partir de la meteorización, por acción del clima, por tal motivo son directamente proporcionales a estos y dependen de la acción del clima para su formación y distribución (Fernández et al., 2010).

**Tabla 5.** Resumen concentraciones bromatológicas en la hoja de “*Guadua angustifolia* Kunth”

Elementos	%			
	Grasa	FDN	FDA	Hemicelulosa
Cuenca hidrográfica río Guarapas	7,45	60,98	37,99	22,25
Amador y Boschini (2000)	-	65,35	35,68	29,67
Durango et al. (2015)	0,8	-	-	-

En la Tabla 5 se evidencia que el contenido de grasa del presente estudio, que es mayor en un 6,8 % a la concentración encontrada por Durango et al. (2015). Esta discrepancia es negativa para efectos de aportes a la producción de materia orgánica, ya que este es un compuesto hidrófobo, por lo tanto, define la velocidad de descomposición de las hojas, a mayor cantidad de grasas menor celeridad en el proceso de descomposición.

En cambio, la fibra como estructuras conformadas por diferentes polímeros de celulo-

sa, hemicelulosa, pectina y lignina, dan lugar a tejidos duros o blandos (Deaquiz Oyola y Moreno Medina, 2016). Los valores encontrados en las hojas de *Guadua angustifolia Kunth* están directamente proporcionales a los encontradas en las hojas de maíz con 149 días de madurez (Amador y Boschini, 2000).

## CONCLUSIONES

---

Se avanza, en el conocimiento de la especie natural *Guadua angustifolia Kunth*, la adición de nutrientes al suelo a partir de materia orgánica fresca, por parte de esta especie, presente en la gran mayoría de los predios en esta zona geográfica, en la relación planta-suelo-clima, para consolidar los servicios ecosistémicos poco estudiados.

En la hoja de la *Guadua angustifolia Kunt*, se encontraron contenidos de fibras en proporción igual al maíz sin importar la madurez fisiológica de las hojas, por lo cual se puede considerar la hojarasca como una fuente importante para el mejoramiento de los suelos en su composición química, siendo utilizada como materia prima para la elaboración de abonos orgánicos tipo compost o como abonos verdes.

Por su parte se evidenció que las grasas se encuentran en alto contenido, lo que implica una desventaja dentro del proceso de descomposición, pues este al ser un elemento hidrófobo tiene poca celeridad dentro de este proceso. Sin embargo, el N y el P se encuentran en relaciones muy favorables para brindar aportes al suelo, enriquecerlo y hacerlo más fértil, aportando a la producción de carbono orgánico y el mejoramiento del pH, la CIC y la saturación de bases, factores fundamentales para la producción.

Para los ocho minerales analizados, se consideran de gran importancia los contenidos de Ca, K, y Mg, elementos que también hacen parte de los elementos mayores y Cu, Mn, Fe y Zn como elementos menores, los cuales están presentes en cantidades valiosas para el enriquecimiento de cualquier compost, para el mejoramiento del suelo, aportando a la fertilidad y productividad de los cultivos en general. Finalmente se pudo inferir que la hoja de la guadua no posee sodio, razón por la cual es favorable para el suelo y su composición química, ya que no se alterara el equilibrio que debe existir entre las bases intercambiables del suelo.

El proyecto de investigación obtuvo unos resultados importantes para la cuenca hidrográfica del río Guarapas en el municipio de Pitalito en el departamento del Huila,

motivando a la preservación de esta especie vegetal (*G. angustifolia Kunth*) impactando positivamente en el componente social, cultural y ambiental, conociendo a esta especie como un recurso natural renovable de gran relevancia en los ecosistemas, sobre todo en la región.

Al estar presente esta especie *Guadua angustifolia Kunth* en predios de esta zona geográfica en zonas ribereñas a fuentes hídricas y al considerarse como cultivo o bosque permanente, se sugieren estudios que contemplen diferentes porcentajes de aprovechamiento, analizar el futuro del ciclo de nutrientes con diferentes modelos de manejo, para asegurar su permanencia, tanto en calidad como en cantidad y lograr su equilibrio ecológico.

## AGRADECIMIENTOS

---

Los autores agradecen a la Universidad de la Amazonia quien permitió realizar en el Laboratorio de Ecofisiología Vegetal y Nutrición Animal del Centro Experimental de la Amazonia Macagual todo el proceso investigativo, con el apoyo del docente PhD. Juan Carlos Suárez y de la ingeniera Agroecóloga Paola Andrea Polonia Hincapié. Así mismo, a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), que permitió que este proyecto se llevara a cabo de la mejor manera su ejecución, cediendo tiempo (horas) y espacios al investigador principal y sus coautores. Finalmente, un agradecimiento especial a la egresada del programa de Agronomía de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Sandra Adarmes Rey, quien fue la persona que participó en el proceso investigativo corriendo muestras y elaborando la tesis con la que optó por el título del programa de Agronomía.

## REFERENCIAS

---

Abdollahi, L., & Munkholm, L. (2014). Tillage system and cover crop effects on soil quality: I. Chemical, mechanical, and biological properties. *Soil Science Society of America Journal*, 78(1), 262-270.

Amador, A. L. y Boschini, C. (2000). Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje. *Agronomía Mesoamericana*, 11(1), 171-177. [http://www.mag.go.cr/rev\\_mesov11n01\\_171.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_mesov11n01_171.pdf)

Association of Official Analytical Chemist. (1990). Official Methods of Analysis, 15th edn. Association of Official Analytical Chemist.

Barrera, J., Cruz, M., & Melgarejo, L. M. (s.f.). Nutrición mineral. In *Nutrición mineral* (pp. 79-106).

CAM. (2009). *POMCH Guarapas*. Pitalito, Huila, Colombia: CAM, Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena. <https://www.cam.gov.co/recurso-hidrico/pomch/category/81-rio-guarapas.html?download=380:pomch-rio-guarapas-parte-i>

Castaño, N. F. (2004). Modelo de núcleo productivo de la guadua cuenca hidrográfica del río Guadalajara Buga-Colombia. *Fundaguadua*.

Deaquiz, O. Y. y Moreno, M. B. (2016). *Producción y biosíntesis de fibras vegetales. una revisión*. Fundación Universitaria Juan de Castellanos. <https://www.jdc.edu.co/revistas/index.php/conexagro/article/download/53/51/>

Durango, A. E., Gallardo, C. C. y Contreras, C. A. (2015). Estudios para el aprovechamiento potencial de hojas de *Guadua angustifolia Kunth (Poaceae)*, para el sector cosmético. *Revista Cubana de Farmacia*, 49(3), 535-542.

Fernández, A. R., Vázquez, E. V. y González, Y. (2010). Contenido de macro, micronutrientes y metales pesados en el suelo tras la adición de compost de residuos sólidos urbanos. En *Pastos: fuente natural de energía: 4ª Reunión Ibérica de Pastos y Forrajes, 3-6 mayo, Zamora-Miranda do Douro* (pp. 141-147). Servicio de Publicaciones.

González, E. y Díaz, J. (2003). Propagación enfermedades y daños siembra cultivo y manejo de la guadua preservación limpieza curado fertilización corte aprovechamiento de la guadua.

Guerrero, R. M. (2020). Conflicto del uso del suelo en Colombia como precursor del aumento de su degradación. Universidad Militar Nueva Granada.

Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2014). *Soil fertility and fertilizers* (8.ª ed.). Pearson Prentice Hall.

IDEAM y UDCA. (2015). *Síntesis del estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023648/Sintesis.pdf>

López-Falcón, R. A. (2011). Materia orgánica y multifuncionalidad del suelo. Departamento de Química, Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

Marín, D., Guedez, Y. y Márquez de Hernández, L. (2011). Las plantaciones de guadua (*Guadua angustifolia Kunth*) y bambú (*Bambusa vulgaris Schrad.*) de San Javier, estado Yaracuy, Venezuela. II. Aporte de nutrimentos y descomposición de la hojarasca. *Rev. Fac. Agron.* 185-204. [http://www.doc-developpement-durable.org/file/Arbres-Bois-de-Rapport-Reforestation/FICHES\\_ARBRES/bambou/Guadua%20angustifolia%20Kunth\\_Revista%20de%20la%20Facultad%20de%20Maracay\\_Venezuela.pdf](http://www.doc-developpement-durable.org/file/Arbres-Bois-de-Rapport-Reforestation/FICHES_ARBRES/bambou/Guadua%20angustifolia%20Kunth_Revista%20de%20la%20Facultad%20de%20Maracay_Venezuela.pdf)

Méndez, P. N. (2014). *Diagnóstico de guaduales y propuesta de un modelo de ordenamiento forestal sostenible productivo para el manejo e industrialización de la guadua (Guadua angustifolia kunt), con participación comunitaria en la cuenca hidrográfica del río guarapas, zona sur*. Universidad Católica De Ávila (UCAV). <https://ucav.odilotk.es/opac/?id=00045859#fichaResultados>

Molina, C. D. y Montealegre, M. W. (2018). *Cuantificación de biomasa aérea utilizando medidas dasométricas para la guadua (Guadua angustifolia Kunth) en la cuenca hidrográfica del río Guarapas en el municipio de Pitalito Huila, como aporte a la cuantificación de captura de carbono orgánico en guaduales*. Pitalito.

Mora, D. J. (2006). Contribuciones del compost al mejoramiento de la fertilidad del suelo. *Luna Azul*, 1-6. [http://lunazul.ucaldas.edu.co/downloads/Lunazul9\\_10\\_9.pdf](http://lunazul.ucaldas.edu.co/downloads/Lunazul9_10_9.pdf)

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (1996). *Tema 2: el suelo*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). <http://www.fao.org/3/w1309s/w1309s04.htm#TopOfPage>



Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (s.f.). *Funciones de los elementos en las plantas*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). [http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/prior/segalim/aup/pdf/6a.pdf](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/aup/pdf/6a.pdf)

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (s.f.). *Propiedades químicas*. Portal de suelos de la FAO. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>

Perea, Y. E., Batis, B. V., García, Y. M., Suárez, E. J., Osoria, O. R. y Fonseca, R. R. (2021). Propiedades físicas del suelo en cuatro fincas suburbanas de Santiago de Cuba. *Centro Agrícola*, 48(2), 74-78.

Ramírez, C. G., Calderón, D. S. y Rojas, W. S. (2018). Cuantificación de biomasa aérea utilizando medidas dasométricas para la *Guadua angustifolia* Kunth, en la cuenca hidrográfica del río Guarapas municipio de Pitalito Huila. *Documentos de trabajo ECAP-MA*, (2).

Ramírez, C. G. y Guaca, C. L. (2021). *Biomasa y carbono orgánico en rodales naturales de guadua para la mitigación del cambio climático en una zona surcolombiana* [Tesis de maestría, Universidad de la Amazonia, Colombia].

Randall, E. L. (1974). Improved method for fat and oil analysis by a new process of extraction. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 57(5), 1165-1168.

Razmilic, B. (1994). *Espectroscopia de absorción atómica*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). <http://www.fao.org/3/ab482s/AB482S04.htm>

Soest, P. V. (1963). Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal of the Association of official Agricultural Chemists*, 46(5), 829-835.

Universidad Nacional de Colombia [UNAL]. (1999). *Plan de ordenamiento territorial Volumen II*. Sistema de Documentación e Información Municipal. [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/diagnostico\\_ii\\_pitalito\\_\(132\\_pag\\_1182\\_kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/diagnostico_ii_pitalito_(132_pag_1182_kb).pdf)

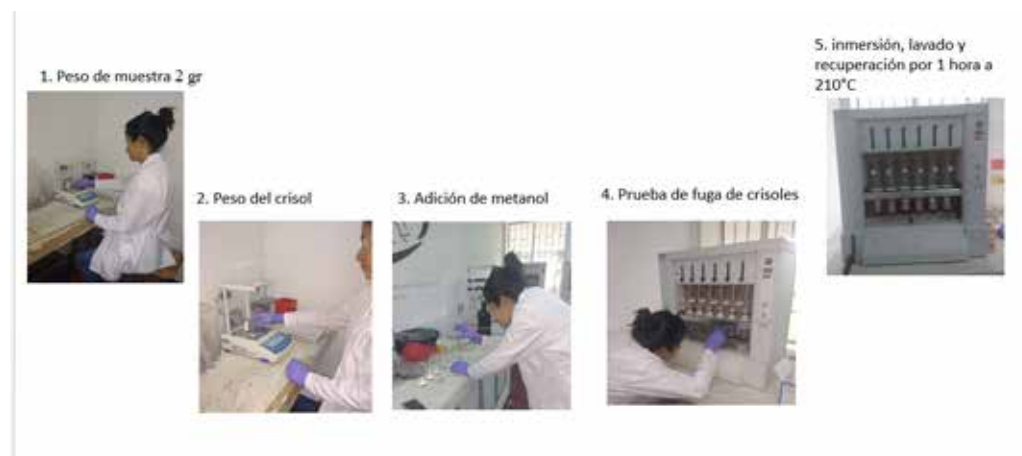
Universidad Nacional de Córdoba [UNC]. (s.f.). *Unidad v: degradación de compuestos orgánicos en el suelo*. Universidad Nacional de Córdoba. <http://agro.unc.edu.ar/~microbiologia/wp-content/uploads/2014/04/unidad-5-degradacion-de-comp-org..pdf>

## ANEXOS

### Anexo 1. Preparación de las muestras.



### Anexo 2. Determinación de grasa método Randall.

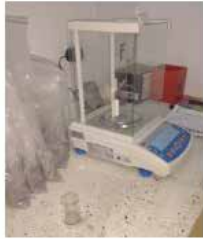


### Anexo 3. Determinación de fibras método Van Soest.

1. Peso de muestra 1 gr



2. Peso de los crisoles



3. Prueba de fuga



4. Digestión por 1 hora a 100°C

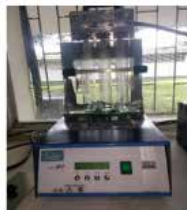


### Anexo 4. Determinación de nitrógeno por método Kjeldahl.

1. Peso de muestra  
0,5 gr



2. Digestión



3. Solución para  
capturar amonio



4. Destilación



5. Determinación  
de volumen



## Anexo 5. Determinación de fósforo por colorimetría.

1. Peso de muestra 0, 25 gr



2. Digestión con HNO<sub>3</sub>, HClO<sub>4</sub> y HCl



3. Coloración Molibdato Metavanadato y HCl



4. Destilación con solución extractora



## Anexo 6. Determinación de ocho minerales (Ca, K, Na, Mg, Cu, Mn, Fe, Zn) por espectrofotometría de absorción atómica.

1. Peso de muestra 0, 25 gr



2. Digestión con HNO<sub>3</sub> HClO<sub>4</sub> HCl



3. Destilación con solución extractora



## 2.5 CARACTERIZACIÓN DE AVIFAUNA Y ESPECIES FORESTALES COMO ESTRATEGIA DE GESTIÓN Y CONSERVACIÓN DE BIODIVERSIDAD: CASO DE ESTUDIO UNAD CEAD IBAGUÉ

Carlos Guillermo Mesa Mejía<sup>27</sup>

Paola Andrea Tenorio Sánchez<sup>28</sup>

Bilma Adela Florido Cuellar<sup>29</sup>

---

27 Ingeniero Sanitario y Ambiental. Especialista en Educación Superior a Distancia, maestrante en Educación, investigador, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Colombia. Carlos.mesa@unad.edu.co

---

28 Ingeniero Ambiental. Especialista en Docencia Universitaria, Magíster en Sistemas Integrados de Gestión, investigador, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Colombia. Paola.tenorio@unad.edu.co

---

29 Bióloga Universidad del Tolima, Magíster en Gestión Ambiental, estudiante de Doctorado en Ciencias Ambientales y Sostenibilidad Universidad de Ibagué, investigador, Universidad de Ibagué, Colombia. Bilma.florido@unibague.edu.co

## RESUMEN

---

Al interior de la zona urbana del municipio de Ibagué, se identificaron zonas verdes y áreas donde la biodiversidad se desarrolla paralelamente con la vida urbana, dichos espacios, proporcionan tanto belleza paisajística como elementos para el desarrollo sostenible del territorio ibaguereño, generando espacios que requieran el desarrollo de estudios de biodiversidad. Esta investigación elaboró un inventario de la avifauna y las especies forestales presentes en el campus de la UNAD CEAD Ibagué, un espacio urbano con vegetación circundante nativa e introducida, que brinda refugio y alimento a la avifauna residente y migratoria. El estudio se desarrolló en un periodo de 18 meses, usando la técnica de muestreo por puntos realizando censos poblacionales. Así mismo, se realizó un censo del arbolado presente en la universidad por medio de observación directa para la caracterización de las especies. Se promovieron a mediano y largo plazo acciones de conservación resaltando la importancia a partir de la identificación de los servicios ecosistémicos prestados por la biodiversidad del campus universitario, además de aplicar algunos de los indicadores ambientales para la valoración ecosistémica de la ornitofauna y especies leñosas, con el fin de promover acciones que permitan la permanencia de estas especies en el tiempo y en el espacio, garantizando la oferta de los servicios ecosistémicos.

**Palabras clave:** aves, inventarios de biodiversidad, hábitat.

## ABSTRACT

---

In this study were identified green areas and areas where biodiversity develops in parallel with urban life in the municipality of Ibagué. These spaces provide both scenic beauty and elements for the sustainable development, generating spaces that require the development of biodiversity studies. Here, we carried out an inventory of the avifauna and forest species on the UNAD CEAD Ibagué, an urban space with native and introduced surrounding vegetation, which provides shelter and/or food for resident and migratory birds. The study was developed over a period of eighteen months, using the point sampling technique from population censuses. In addition, a census of the trees present in the university was carried out using direct observation for the characterization of the species. Conservation actions were promoted in the medium and long term, highlighting the importance of identifying the ecosystem services provided by the biodiversity of the university. Finally, we applied environmental indicators for the ecosystem assessment of ornithofauna and forest species, in order to promote actions that allow the permanence of these species in time and space, guaranteeing the supply of ecosystem services.

**Keywords:** birds, biodiversity inventories, habitat.

# INTRODUCCIÓN

---

El municipio de Ibagué se encuentra ubicado, en la parte central de la región Andina de Colombia, en la vertiente oriental de la cordillera Central, en el valle del río Magdalena departamento del Tolima. Tiene una extensión de 149 800 Has. Cuenta con una población aproximada de 543 949 habitantes (Alcaldía de Ibagué, 2020). Al interior de la zona urbana del municipio se encuentran zonas verdes y áreas donde la biodiversidad coexiste con la rutina urbana, las cuales proporcionan, tanto la belleza paisajística como el desarrollo sostenible del territorio ibaguereño. En dichas zonas se identifican problemáticas como contaminación auditiva y atmosférica, manejo inadecuado de residuos, falta de cultura ambiental, ocupación del espacio público, entre otras, que ameritan el desarrollo de estudios para conservar aquellas comunidades biológicas y los espacios habitados por ellas, para de esta manera, la población ibaguereña, pueda disfrutar de los servicios ecosistémicos proporcionados por estas especies y estos hábitats.

Las ciudades junto con sus elementos paisajísticos generan interacciones entre los diversos componentes. Las modificaciones al paisaje y el desarrollo urbanístico promueven que los componentes del paisaje como árboles y fauna se concentren en espacios bien definidos, evidenciando la importancia del estudio y conservación de la biodiversidad de estos ecosistemas (Clergeau et al., 2001). Las áreas verdes y los pequeños parches de vegetación en las zonas urbanas (parques, separadores viales, jardines y zonas arboladas) facilitan el sostenimiento de una mayor diversidad, ya que constituyen un paisaje heterogéneo, inmerso en una matriz de concreto, de vital importancia para la flora y fauna silvestres, en particular de las aves. Estas áreas actúan como corredores biológicos, como sitios de paso durante la migración de algunas especies, o como fuente temporal de recursos alimenticios (Jiménez 1988; Manhaes y Ribeiro, 2005).

El amplio acceso a los elementos de las ciudades promueve el desarrollo de estudios de biodiversidad, composición, ciclo de vida y desarrollo ecosistémico de algunos elementos paisajísticos. De la misma manera los campus universitarios tienden a comportarse como espacio de conservación de la biodiversidad, protegiéndola de las perturbaciones urbanas circundantes (Stiles, 1990).

En los últimos años ha venido creciendo la evidencia de que los árboles urbanos y los árboles de las calles se han visto involucrados en los beneficios sociales, económicos,



de salud y ambientales de los habitantes. Los servicios ecosistémicos que prestan los árboles en el entorno urbano son analizados debido a que identifican varias interrelaciones que se quieren conocer como lo son la calidad del agua, calidad del aire, viento, sombra, entre otros (American Forest, 2007), dando lugar a generar nuevas estrategias de optimización de los servicios ecosistémicos de la biodiversidad, que se van a ver reflejadas en el ambiente, la sociedad y la economía de una ciudad.

El conocimiento de la biodiversidad presente en el campus de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia CEAD Ibagué, proporciona un acercamiento al conocimiento de las especies faunísticas y florísticas, y da una idea de los diferentes comportamientos e interacciones de estas comunidades, así como la identificación de los servicios ecosistémicos que estas especies proporcionan a la comunidad del sector y que a su vez facilita su conservación en el tiempo y en el espacio.

La importancia de identificar los servicios ecosistémicos prestados por la biodiversidad del campus universitario, además de aplicar algunos de los indicadores ambientales que valoren ecosistémicamente a las aves y los árboles dentro de su entorno, ayuda también a que se actúe de manera más clara y correcta en los procesos de gestión ambiental que se vienen desarrollando en la ciudad, así como la contribución a mejorar el funcionamiento del sistema urbano. Teniendo en cuenta estas consideraciones y como parte de la investigación abordada, esta investigación tuvo como propósito elaborar un inventario de avifauna y especies forestales en el campus de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia CEAD Ibagué. Este estudio permitió dar a conocer la importancia de incluir espacios arbolados en la planificación urbana, así como la generación de espacios de interacción en temáticas que involucran la identificación de estrategias de gestión y conservación de la biodiversidad.

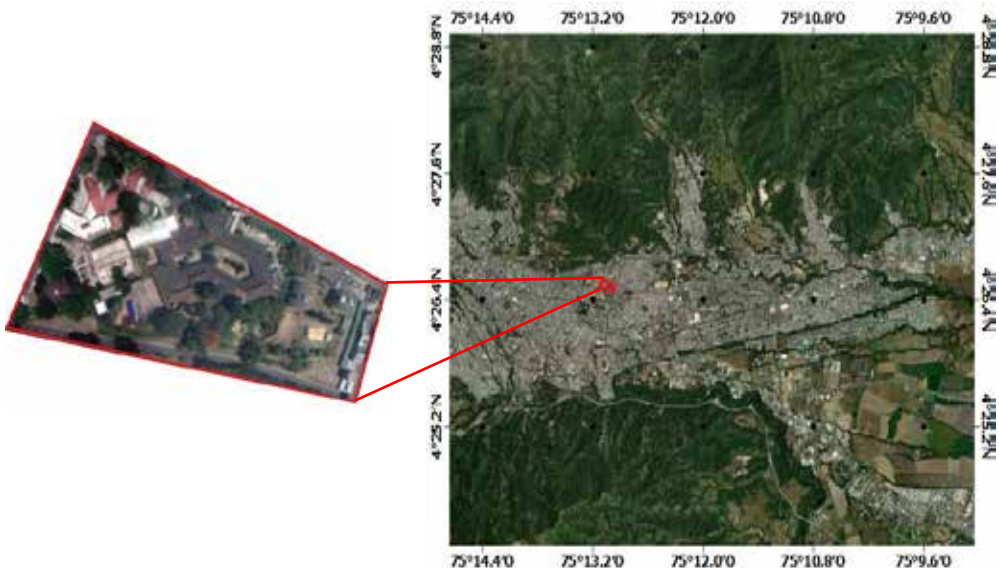
## MATERIALES Y MÉTODOS

---

### ÁREA DE ESTUDIO

Este estudio fue desarrollado en el campus de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia CEAD Ibagué y sus alrededores, en la zona urbana del municipio de Ibagué, Comuna 3, Barrio San Simón parte baja, entre las coordenadas N: 4° 26' 06,15'' O: 75°13' 06,12'' y N: 4° 26' 30,84'' O: 75°13' 02,91'', lo que representa una súper manzana en el interior de la zona urbana del municipio, con una elevación de 1 189 m (Figura 1).

**Figura 1.** Área de estudio en el campus de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia CEAD Ibagué – Colombia.



**Fuente:** los autores

El estudio se realizó en un periodo de 18 meses, donde se usó la técnica de muestreo por puntos. Se realizaron censos poblacionales a través de transectos de longitud variable (Ralph et al., 1996), utilizando binóculos (8x40 / 10x40), de las 6:00 am a las 8:00 am y de 16:00 a las 18:00 pm con espacios de diez minutos por punto de observación, donde se tomaron datos relacionados con: identificación del individuo, altura y tipo de percha, época reproductiva, transporte de material para nido, entre otros. Se empleó similaridad de *kruskal wallis* para la estimación de la similitud entre los diferentes tipos de registros, considerando la metodología para la caracterización de avifauna dispuesta en el Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad (Villareal et al., 2016).

A cada especie de aves le fue asignada una categoría ecológica, utilizando la variable cualitativa categoría ecológica propuestas por Stiles y Bohórquez (2000). Las categorías ecológicas empleadas para este estudio fueron:

- Ia: especies restringidas al bosque primario o poco alterado.
- Ib especies no restringidas al bosque primario o poco alterado.
- II: especies de bosque secundario o bordes de bosque, o de amplia tolerancia.
- III: especies de áreas abiertas.

- Iva: especies acuáticas asociadas a cuerpos de agua sombreados o con la vegetación densa al borde del agua.
- IVb: especies acuáticas asociadas a cuerpos de agua sin sombra, orillas abiertas o con vegetación baja.
- Vb: especies aéreas indiferentes a la presencia de bosque.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

En este estudio se registraron 44 especies de aves y un total de 389 individuos pertenecientes a 14 familias, las especies con mayor número de registros fue *Sicalis flaveola* y la familia con mayor representatividad fue *Thraupidae*, entre los registros se reportan tres especies endémicas y cinco casi endémicas para Colombia, teniendo en cuenta el trabajo realizado por Chaparro-Herrera et al. (2013).

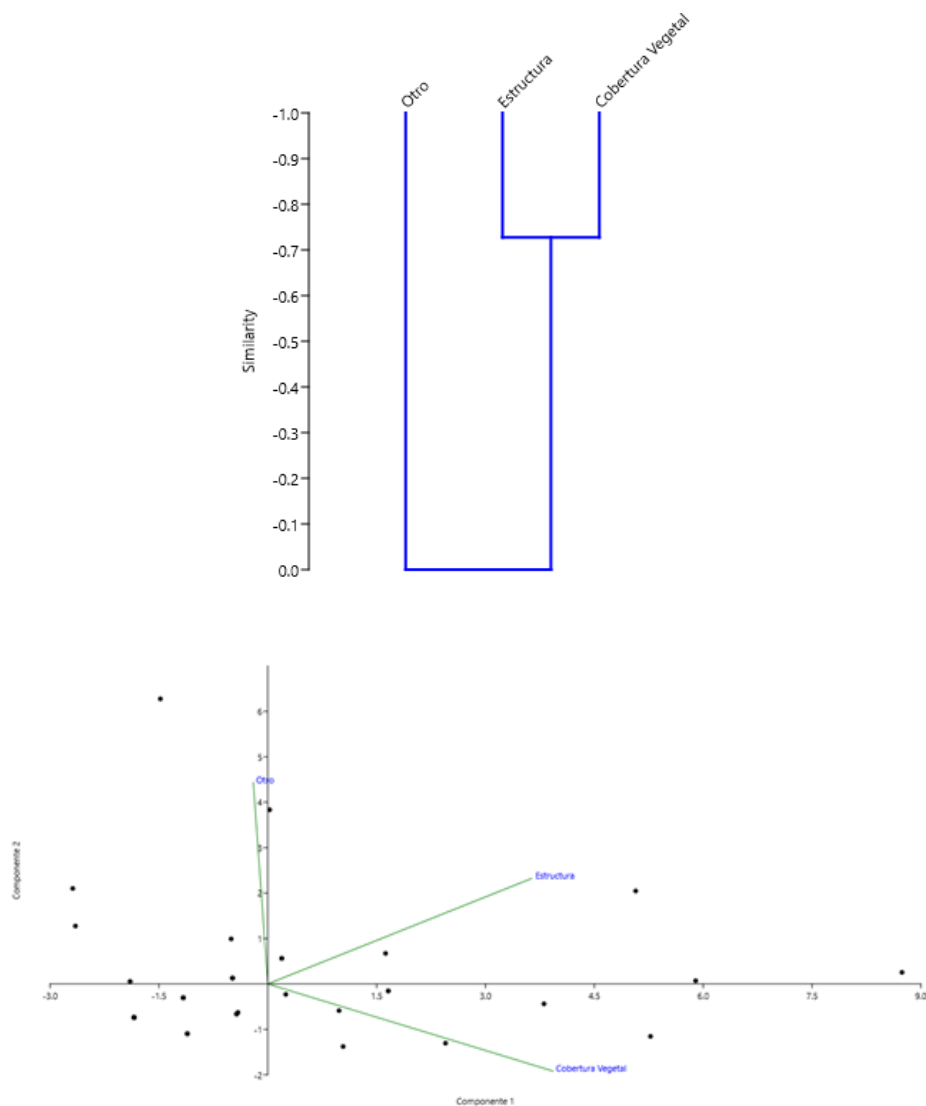
Las especies vegetales en este estudio representan 222 individuos de 39 especies pertenecientes a 25 familias, la especie más abundante fue el *ocobo* *Tabebuia rosea* y la familia con mayor representatividad fue *Fabaceae*. Es importante mencionar resaltar que del área total de estudio 4,37 Has., el 25 % representa la cobertura vegetal y el 75 % restante es la cobertura de la infraestructura de ciudad integrada por edificaciones, corredores viales y peatonales, entre otros.

Así mismo, al no asumir la normalidad en los datos, se realizó la prueba de similitud de *kruskal wallis*, encontrando diferencias en la composición de especies diferenciándose las especies que se observaron en cobertura vegetal, de las observadas en infraestructura de ciudad, un tercer grupo denominado otros compuestos por observaciones en vuelo y registros auditivos, fue quien evidenció menos similitud con los otros grupos.

El análisis de agrupamiento y análisis de componentes principales realizado en el programa *Past* versión 4,06 revela una tendencia en los datos a mostrarse diferentes, aunque esta diferencia no fue estadísticamente significativa, si muestra como las especies registradas en este estudio, tienden a usar más las coberturas vegetales como el Oco-bo y la Pera de malaca por encima de las otras especies vegetales como el Mango, la Palma de vino y el Acacio forrajero, entre otros, y que las infraestructuras de ciudad como cuerdas y rejas se reflejan, como las infraestructuras para percha más usadas más usadas por las aves en este estudio.

Este análisis también muestra como especies de aves como *Turdus ignobilis*, *Columbina talpacoti* y *Coragyps atratus* se muestran como las especies con mayor tendencia al uso de infraestructura urbana, mientras que especies como los colibrís *Amazilia tzacatl* y *Chlorostilbon mellisugus* y el cardenal pico de plata *Ramphocelus dimidiatus* se mostraron como aquellas especies con mayor tendencia a usar cobertura vegetal como elemento predominante para la percha.

**Figura 2.** a) Análisis de agrupamiento y b) Análisis de componentes principales del uso de las aves a los elementos de la ciudad.



**Fuente:** los autores

En la Figura 2b, el análisis de componentes principales se evaluó el uso de las coberturas vegetales para percha dentro del área de estudio, encontrando que el Ocobo, el Pastizal y la Pera de malaca fueron las coberturas vegetales de mayor preferencia y el Acacio forrajero y el Limón Swinglea las perchas vegetales de menor utilización.

Las aves pertenecientes al gremio trófico de los invertebrados fueron aquellas con la mayor abundancia relativa (30 %) representadas en 17 especies, los consumidores de plantas y semillas ocuparon el segundo lugar (28 %) con ocho especies, los omnívoros ocuparon el tercer lugar (20 %) con nueve especies, seguidos de los frugívoros nectarívoros (15 %) con ocho especies y finalmente los consumidores de vertebrados/peces/carroña ocuparon el último lugar (5 %) con dos especies.

Se registraron especies en cuatro categorías ecológicas, las aves caracterizadas en la categoría III, especies de áreas abiertas (67 %), en segundo lugar se ubican las aves de la categoría II, especies de bosque secundario o bordes de bosque, o de amplia tolerancia, (25 %), seguidas de la categoría Vb, especies aéreas indiferentes a la presencia de bosque (6 %) y finalmente las especies de la categoría IVb especies acuáticas asociadas a cuerpos de agua sin sombra, orillas abiertas o con vegetación baja (2 %).

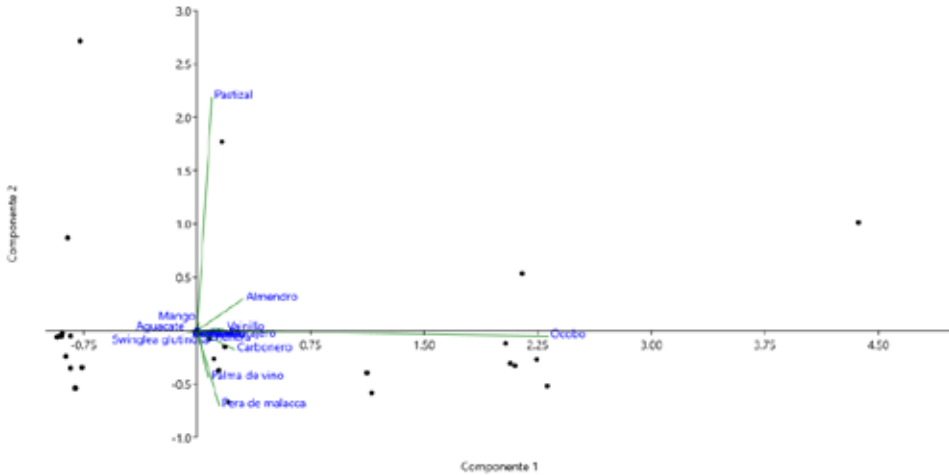
Las especies registradas en este estudio representan el 13 % del total de aves registradas en la zona urbana y periurbana del municipio y el 12 % de las aves registradas en el área urbana de Ibagué.

Una de las principales problemáticas ambientales a nivel internacional es la pérdida de la cobertura vegetal, entre otras causas la ampliación de la frontera agrícola y ganadera, el incremento de sectores productivos como el minero y el industrial; sin embargo, a partir de la década del 60 una de las principales causas de la pérdida de la cobertura vegetal, tiene que ver con la ampliación de las fronteras urbanas (Bárcena, 2001), donde cada vez se ve más migración de lo rural a lo urbano, y la necesidad de expandir las ciudades para generar espacios de infraestructura tendientes a garantizar la calidad de vida de las personas en las urbes, proceso que acelera la pérdida de biodiversidad.

La anterior problemática no es ajena al municipio de Ibagué; sin embargo, el área urbana aún cuenta con espacios conservados en su interior, como dos jardines botánicos, bosques urbanos, e infraestructura como corredores y separadores viales con alto porcentaje de cobertura vegetal, que aún permite el flujo de fauna y servicios ecosistémicos de la periferia (cerros tutelares y cañón del río Combeima) a la zona urbana (Cortolima, 2009). De esta manera, este estudio generó información de las especies de aves presentes en una supermanzana del área urbana, en donde se evaluó la relación

entre la composición vegetal del área con el uso que las aves dan al mismo, arrojando información preliminar acerca del uso que las aves dan a los diferentes elementos urbanos (Figura 3).

**Figura 3.** Análisis de uso de la cobertura vegetal en la ciudad.



**Fuente:** los autores

Se encontraron en su mayoría especies de áreas abiertas y de amplia tolerancia, que, aunque hicieron uso de elementos urbanos como de cuerdas, rejas, lámparas, ventanales, suelo, se registró un mayor uso de cobertura vegetal como Ocobos, Peras de malaca y Pastizales, lo que concuerda con lo descrito por Avendaño et al. (2018), determinando que las especies más comunes y frecuentes son aquellas que más hacen usos de los elementos de la ciudad como construcciones y escenarios construidos mientras que las especies menos comunes se registran en diferentes ambientes dentro de las ciudades, diferentes a espacios construidos.

El municipio de Ibagué presenta un gradiente altitudinal bastante amplio, desde los 5 200 hasta los 900 m, lo que le permite poseer una gran variedad de ecosistemas y zonas de vida, generando a su vez condiciones ambientales ideales para poseer una riqueza faunística y florística muy grande, siendo el escenario ideal para el registro y observación de un gran número de aves residentes y migratorias, es importante mencionar que aunque en este estudio no se registran especies migratorias, estas sí están presentes en varias zonas de la ciudad y han sido descritas en diferentes gradientes altitudinales al interior del área urbana.

Es necesario el desarrollo de estudios más extensos y específicos para comprender cómo las aves usan los espacios urbanos y periurbanos y entender cómo los proyectos urbanos actuales y futuros pueden contribuir a su conservación desde la planeación y el manejo urbano. Tendientes a identificar y evaluar el aporte de las aves a los servicios ecosistémicos y como poder establecer herramientas desde la economía ambiental que permita el uso y conservación adecuado de la ornitofauna ibaguereña.

## CONCLUSIONES

---

Estos resultados muestran que, a pesar del tamaño relativamente pequeño del área de estudio, se presenta una diversidad relativa evaluada en el 13 % de las aves registradas en la zona urbana y periurbana del municipio; así mismo, este estudio permitió determinar aunque de manera preliminar que las aves de áreas abiertas y generalistas prefieren el uso de coberturas vegetales por encima de coberturas de infraestructura, resaltando de esta manera la importancia de los espacios verdes urbanos como sitios de paso y corredores de biodiversidad para el mantenimiento de la calidad de los ecosistemas urbanos.

Se hace indispensable continuar con estudios que permitan identificar a mayor profundidad los usos que hacen las aves a las diferentes coberturas presentes en las ciudades, a fin de proponer estrategias y políticas ambientales que promuevan la conservación de espacios urbanos como puntos de convergencia y mantenimiento de la biodiversidad, tendientes a garantizar la prestación de los servicios ecosistémicos en el municipio y mantener el desarrollo sostenible de la región.

## REFERENCIAS

---

Avendaño, J. Tejeiro, N. J., Díaz, J., & Amaya, J. (2018). Birds of Universidad de los Llanos (Villavicencio, Colombia): A rich community at the Andean foothills-savanna transition. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 22(2), 51-75.

Alcaldía de Ibagué. (2020). Informe de Calidad de Vida. Ibagué 2019 – 2020. <https://ibaguecomovamos.org/demografia-y-poblacion-2020/>

American Forest 2007 <http://www.americanforests.org/>

Bárcena, A. (2001). Evolución de la urbanización en América Latina y el Caribe en la década de los noventa: desafíos y oportunidades. *La Nueva Agenda de América Latina*, 790(51-61), 217.

Castillo, P. L., Castaneda, C. L. y Quinteros, C. Z. (2014). Aves del campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Lima-Perú) - Una revisión de su abundancia, distribución y diversidad desde 1992 al 2010. *Ecol. apl., Lima*, 13(2).

Chaparro-Herrera, S., Echeverry-Galvis, M. Á., Córdoba-Córdoba, S., & Sua-Becerra, A. (2013). Listado actualizado de las aves endémicas y casi-endémicas de Colombia. *Biota colombiana*, 14(2).

Clergeau P, Jokimäki, J, Savard JPL. 2001. Are the urban birds communities influenced by the bird diversity of adjacent landscapes? *Journal of Applied Ecology*. 38: 1122-34.

Corporación Autónoma Regional del Tolima Cortolima y Alcaldía de Ibagué. (2009). Política pública ambiental, Agenda ambiental del municipio de Ibagué, Ibagué -Tolima, Colombia.

Esquivel, H. E. (2009). Flora arbórea de la ciudad de Ibagué. Ibagué: Universidad del Tolima.

Etter, A. (1993). Diversidad ecosistémica en Colombia hoy. En: Nuestra diversidad biótica. CEREC y Fundación Alejandro Ángel Escobar (pp. 43-61).



Franco – Pérez L. M., García – Melo, J. E. y Guevara – Cardona, G. (2015). Naturaleza Inadvertida: conectando la universidad con la biosfera. Nature Unnoticed: Connecting the University with the Biosphere. Universidad de Ibagué: Ibagué (Colombia) (p. 205).

Granizo, T. (2006). Manual de planificación para la conservación de áreas, PCA. TNC y USAID (pp. 203).

Henderson, A., Churchil, S., y Luteyn, J. (1991). Neotropical plant diversity. Nature, 351(21–22), 216.

Hilty, S., & Brown, W. (1986). A guide to the birds of Colombia. Princeton University Press.

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (1998). El bosque seco tropical (Bs-T) en Colombia. Programa de inventario de la biodiversidad, grupo de exploraciones y monitoreo ambiental GEMA, IAVH, Villa de Leyva (p. 24).

Jiménez S., M. 1988. Diagnóstico ecológico de las áreas verdes de la Delegación Cuauhtémoc, D.F. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Manhaes, M.A. y A.L. Ribeiro. 2005. Spatial distribution and diversity of bird community in an urban area of southeast Brazil. Brazilian Archives of Biology and Technology 48:285-294.

Moreno-Palacios, M., Sanabria, J., Díaz-Jaramillo, C., Carantón-Ayala, D. y Parra-Hernández, R. (2007). Caracterización de la avifauna del Jardín Botánico Alejandro von Humboldt Universidad del Tolima. Informe Técnico. Jardín Botánico AvH – Universidad del Tolima. Ibagué.

Muñoz, M. C., Fierro-Calderón, K. y H. F. Rivera-Gutierrez. (2007). Las aves del campus de la Universidad del Valle. Ornitología Colombiana, 5, 5-20.

Naranjo, L. G. y Estella, F. (1999). Inventario de la avifauna de un área suburbana de la ciudad de Cali. Boletín SAO, 10 11–27.

Ralph CJ, Geupel GR, Pyle PM, Thomas E, DeSante DF, Milá B.1996. Manual de Métodos de Campo para el Monitoreo de Aves Terrestres. Gen. Tech. Rep. PSWGTR-159. Albany,CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. Pp. 46.

Rangel, O. y Garzón, A. (1995). Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia). En: Rangel, O. (eds.). Colombia Diversidad Biótica I. Instituto de Ciencias Naturales.

Restall, R., C., & Rodner, M. L. (2006). Birds of northern South America: an identification guide. Volumes I y II. Christopher Helm.

Stiles, F.G. & C.I. Bohórquez. 2000. Evaluando el estado de la biodiversidad: el caso de la avifauna de la Serranía de la Quinchas, Boyacá, Colombia. *Caldasia* 22:61-92.

Stiles, F. G. (1990). La avifauna de la Universidad de Costa Rica y sus alrededores a través de 20 años (1968 – 1989). *Revista Biología Tropical*, 38, 361–381.

Strewe, R., Villa-de León, C., Alzate, J., Beltrán, J., Moya, J., Navarro, C, y Útria, G. (2009). Las Aves del Campus de la Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. *Intropica*, 4(1), 79-91.

Tunarroza, M. (2002). Evaluación de la calidad del aire de la Pontificia Universidad Javeriana [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana].

Villareal, H. M., Álvarez, M., Córdoba-Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., ... & Umaña, A. M. (2016). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad.

UNAM. (2007). Los árboles en la UNAM. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. [www.arboles.org](http://www.arboles.org)



## **UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD)**

Sede Nacional José Celestino Mutis  
Calle 14 Sur 14-23  
PBX: 344 37 00 - 344 41 20  
Bogotá, D.C., Colombia

[www.unad.edu.co](http://www.unad.edu.co)

