



Universidad Nacional  
Abierta y a Distancia

**Sello Editorial**

# GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO AGROPECUARIO SOSTENIBLE

---

Nelly María Méndez Pedroza  
Andrés Mauricio Munar Samboní  
Martha Cecilia Vinasco Guzmán  
Myrian Sofía Guzmán Oliveros  
Silvia Alejandra Trujillo Zapata  
Walter Ariza Camacho  
Leonardo Antonio Aguilera Castro  
Oscar Eduardo Valbuena Calderón  
William Ignacio Montealegre Torres  
Mauro Albeiro Bravo Gaviria  
Guillermo Edmundo Caicedo Díaz  
Juan Pablo Herrera Cerquera  
Catherine Johana Jaimes Silva  
Carlos Guillermo Mesa Mejía  
Alejandra María Pena Beltrán  
Mary Sánchez Molano

Diana Paola García  
Diana Sofía Villarreal  
José Alejandro Martínez  
Jenner Andrés Chavarro  
Camilo Andrés Cruz Ospina  
Johan David Ortega Astudillo  
Luz Adriana Moreno Samboní  
Delber Johan Lasso Muñoz  
Jeisson Wberly Cardona Cortes  
Juan Sebastián Botero Mondragón  
Milton Alexander Pérez Pérez  
Iván Rene Ortiz Molina  
Paola Andrea Paladinez  
Leydy Carolina Chilito  
Mary Daniela Chilma Fernández

**Grupo de Investigación**  
Inyumacizo

# **GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO AGROPECUARIO SOSTENIBLE**

Autores:

Nelly María Méndez Pedroza  
Andrés Mauricio Munar Samboní  
Martha Cecilia Vinasco Guzmán  
Myrian Sofía Guzmán Oliveros  
Silvia Alejandra Trujillo Zapata  
Walter Ariza Camacho  
Leonardo Antonio Aguilera Castro  
Oscar Eduardo Valbuena Calderón  
William Ignacio Montealegre Torres  
Mauro Albeiro Bravo Gaviria  
Guillermo Edmundo Caicedo Díaz  
Juan Pablo Herrera Cerquera  
Catherine Johana Jaimes Silva  
Carlos Guillermo Mesa Mejía  
Alejandra María Pena Beltrán

Mary Sánchez Molano  
Diana Paola García  
Diana Sofía Villarreal  
José Alejandro Martínez  
Jenner Andrés Chavarro  
Camilo Andrés Cruz Ospina  
Johan David Ortega Astudillo  
Luz Adriana Moreno Samboní  
Delber Johan Lasso Muñoz  
Jeisson Wberly Cardona Cortes  
Juan Sebastián Botero Mondragón  
Milton Alexander Pérez Pérez  
Iván Rene Ortiz Molina  
Paola Andrea Paladinez  
Leydy Carolina Chilito  
Mary Daniela Chilma Fernández

# 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**

Edgar 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 Emeleth 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 ambiental y desarrollo agropecuario sostenible

### Autores:

Nelly María Méndez Pedroza  
Andrés Mauricio Munar Samboní  
Martha Cecilia Vinasco Guzmán  
Myrián Sofía Guzmán Oliveros  
Silvia Alejandra Trujillo Zapata  
Walter Ariza Camacho  
Leonardo Antonio Aguilera Castro  
Oscar Eduardo Valbuena Calderón  
William Ignacio Montealegre Torres  
Mauro Albeiro Bravo Gaviria  
Guillermo Edmundo Caicedo Díaz

Juan Pablo Herrera Cerquera  
Catherine Johana Jaimes Silva  
Carlos Guillermo Mesa Mejía  
Alejandra María Pena Beltrán  
Mary Sánchez Molano  
Diana Paola García  
Diana Sofía Villarreal  
José Alejandro Martínez  
Jenner Andrés Chavarro  
Camilo Andrés Cruz Ospina  
Johan David Ortega Astudillo

Luz Adriana Moreno Samboní  
Delber Johan Lasso Muñoz  
Jeisson Wberly Cardona Cortes  
Juan Sebastián Botero Mondragón  
Milton Alexander Pérez Pérez  
Iván Rene Ortiz Molina  
Paola Andrea Paladinez  
Leydy Carolina Chilito  
Mary Daniela Chilma Fernández

### Grupo de Investigación: INYUMACIZO

**333.71**  
**M538**

Méndez Pedroza, Nelly María  
Gestión ambiental y desarrollo agropecuario sostenible / Nelly María Méndez Pedroza, Andrés Mauricio Munar Samboní, Martha Cecilia Vinasco Guzmán,; ... [et al.] -- [1.a. ed.]. Bogotá: Sello Editorial UNAD/2020. (Grupo de investigación INUYMACIZO – Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente -ECAPMA-)

ISBN: 978-958-651-819-2

e-ISBN: 978-958-651-821-5

1. Gestión Ambiental 2. Desarrollo Sostenible 3. Desarrollo Agropecuario  
I. Méndez Pedroza, Nelly María II. Munar Samboní, Andrés Mauricio III. Vinasco Guzmán, Martha Cecilia IV. Guzmán Oliveros, Myrián Sofía V. Trujillo Zapata, Silvia Alejandra VI. Ariza Camacho, Walter VII. Aguilera Castro, Leonardo Antonio VIII. Valbuena Calderón, Oscar Eduardo ... [et al.]

**ISBN:** 978-958-651-819-2

**e-ISBN:** 978-958-651-821-5

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

©Editorial

Sello Editorial UNAD

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Calle 14 sur N.º 14-23

Bogotá D.C

Agosto 2020.

**Corrección de textos:** Angie Sánchez Wilchez

**Diseño de portada:** Sergio Toscano

**Diagramación:** Sergio Toscano

**Impresión:** Hipertexto - Netizen

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

06

## Capítulo 1.

---

### Gestión ambiental

09

- 1.1 Evaluación de la calidad del agua en el río Guachicos y sus cinco principales afluentes en Pitalito (Colombia), utilizando los índices de contaminación (ICOS) y el índice BMWP/Col 10
- 1.2 Caracterización de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en Neiva, Huila: análisis de la generación, manejo y disposición final de los residuos electrónicos 40
- 1.3 Análisis comparativo de tres modelos diferentes de compostaje, para el manejo adecuado de residuos sólidos orgánicos de la sección de frutas, verduras y legumbres de la plaza la 21 en la ciudad de Ibagué. 58

## Capítulo 2.

---

### Desarrollo agropecuario sostenible

79

- 2.1 Incidencia de un sistema de recirculación acuícola (RAS) en el comportamiento productivo y parámetros zootécnicos de un cultivo de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en Pitalito (Huila). Estudio de caso 80
- 2.2 Evaluación de parámetros fisicoquímicos en un sistema de recirculación acuícola (RAS) con cultivo de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en el municipio Pitalito (Huila). Estudio de caso 100
- 2.3 Calidad del suelo en cultivos de *Coffea arabica* L. var. Caturra, en tratamientos de fertilización orgánica y convencional en Pitalito, Huila 114
- 2.4 Rendimiento y calidad de taza en agroecosistemas de *Coffea arabica* L. variedad Caturra de zona andina con diferentes niveles de calidad de suelo 128
- 2.5 Capacidad de adaptabilidad de seis biotipos de la especie *Guadua angustifolia* Kunth en Bosque Húmedo Premontano, en la cuenca alta del río Magdalena, Colombia 140
- 2.6 Caracterización estructural de un bosque urbano en la ciudad de Neiva, Huila 156
- 2.7 Evaluación de tres cultivares de achira (*Canna edulis* Ker) con periodo vegetativo corto y alta producción de almidón, para las zonas marginales de café en el departamento del Huila 166
- 2.8 Evaluación del efecto de la densidad de siembra en el rendimiento del cultivo de papa criolla variedad “Yema de Huevo” (*Solanum phureja* juz et buk. et.) en el municipio de Puracé, departamento del Cauca 174
- 2.9 El Plan de Acción Institucional 2020-2023, de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), Huila, territorio de vida, sostenibilidad y desarrollo, ¿realidad o utopía? 182

# PRÓLOGO

---

Este libro reúne las principales investigaciones desarrolladas por estudiantes, docentes y egresados de la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA) de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD y su Grupo de Investigación INYU-MACIZO, categorizado en A por Minciencias, el cual desde hace más de una década viene desarrollando investigación científica y aplicada de alto impacto en la región surcolombiana, especialmente en los departamentos de Tolima, Huila, Caquetá y Putumayo.

Se deriva a partir de un riguroso trabajo interdisciplinar y de aliados estratégicos (autoridades ambientales, alcaldías municipales, empresas de servicios públicos domiciliarios, sector productivo, entre otros), para convertirse en una valiosa herramienta de gestión, planificación y toma de decisiones para el sector ambiental y agropecuario de la región surcolombiana.

El libro está dividido en dos capítulos. Un primer capítulo denominado Gestión ambiental y un segundo capítulo denominado Desarrollo agropecuario sostenible. Los resultados obtenidos en cada capítulo, así como el marco metodológico propuesto en cada una de las investigaciones brindan alternativas de gestión y desarrollo agropecuario sostenible, permitiendo conocer las potencialidades de cada sistema analizado, y sirviendo como línea base para mejorar la productividad y competitividad del sector.

En este contexto, el libro presentado se constituye en un recurso valioso de consulta con el fin de brindar herramientas de análisis, soporte, planificación y gestión de los recursos naturales y el territorio a profesionales, técnicos, consultores, estudiantes de ciencias agropecuarias, ambientales, ingenierías, entre otros, interesados en temas de gestión ambiental y desarrollo agropecuario sostenible.

---

### **Nelly María Méndez Pedroza**

Ingeniera Forestal, Universidad del Tolima.

Especialista en Gerencia Estratégica de Mercadeo, UNAD.

Magíster 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*

### **Andrés Mauricio Munar Samboní**

Ingeniero Ambiental, Universidad del Cauca.

Magíster 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.

Postdoctorado (C) en Cambio Climático / Recursos Hídricos CEPASS/MINCIENCIAS

Docente investigador, Universidad Nacional Abierta a Distancia (UNAD), Colombia.

*andres.munar@unad.edu.co*



## CAPÍTULO

---

# GESTIÓN AMBIENTAL

En este capítulo se consolidan investigaciones relacionadas con la evaluación y monitoreo de la calidad de agua en fuentes abastecedoras de acueductos municipales; la gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) y la gestión integral de residuos sólidos orgánicos (RSO) en los departamentos de Huila y Tolima. Estas investigaciones han permitido diagnosticar las principales problemáticas ambientales de la región, evidenciando la necesidad de implementar planes y programas para el seguimiento, control y monitoreo del recurso hídrico y el manejo integrado de residuos. Los resultados obtenidos permitirán mejorar la gestión integrada del recurso hídrico (GIRH) y establecer estrategias de producción más limpia.

---



Martha Cecilia Vinasco Guzmán  
Myrian Sofía Guzmán Oliveros  
Silvia Alejandra Trujillo Zapata  
Mary Sánchez Molano  
Diana Paola García  
Diana Sofía Villarreal  
José Alejandro Martínez  
Jenner Andrés Chavarro  
Camilo Andrés Cruz Ospina  
Johan David Ortega Astudillo  
Luz Adriana Moreno Samboní  
Delber Johan Lasso Muñoz  
Catherine Johana Jaimes Silva  
Juan Pablo Herrera Cerquera  
Jeisson Wberly Cardona Cortes  
Juan Sebastián Botero Mondragón  
Carlos Guillermo Mesa Mejía

# 1.1 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO GUACHICOS Y SUS CINCO PRINCIPALES AFLUENTES EN PITALITO (COLOMBIA), UTILIZANDO LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN (ICOS) Y EL ÍNDICE BMWP/COL

---

Martha Cecilia Vinasco Guzmán

Doctora en Desarrollo Sostenible. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente, CCAV Pitalito, Colombia.

marta.vinasco@unad.edu.co

Myrian Sofía Guzmán Oliveros

Magíster en Gestión Ambiental. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente, CCAV Pitalito, Colombia

myrian.guzman@unad.edu.co

Silvia Alejandra Trujillo Zapata

Magister 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

Mary Sánchez Molano

Estudiante Ingeniería ambiental, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Colombia

marjiset05@hotmail.com

Diana Paola García

Estudiante Ingeniería ambiental, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Colombia

arianapaola19@gmail.com

Diana Sofía Villarreal

Estudiante Ingeniería ambiental, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Colombia

dianasofia81@gmail.com

José Alejandro Martínez

Estudiante Ingeniería ambiental, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Colombia

joselosa@misena.edu.co

Jenner Andrés Chavarro

Estudiante Ingeniería ambiental, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Colombia  
andres494chavarro@gmail.com

Camilo Andrés Cruz Ospina

Estudiante Ingeniería ambiental, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Colombia  
cruz.ospina@hotmail.com

Johan David Ortega Astudillo

Estudiante Ingeniería ambiental, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Colombia  
ortega.johandavid@gmail.com

Luz Adriana Moreno Samboní

Estudiante Ingeniería ambiental, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Colombia  
luzadrianapitalito@gmail.com

Delber Johan Lasso Muñoz

Estudiante Ingeniería ambiental, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Colombia  
johan9657@hotmail.com

---

## RESUMEN

La calidad del agua es un asunto que incide en la salud y el bienestar de la comunidad. Este artículo consolida varias investigaciones en la microcuenca del río Guachicos que abastece el acueducto para 100 000 habitantes de la zona urbana de Pitalito y cinco de sus afluentes en la cuenca alta del río Magdalena, monitoreando variables fisicoquímicas y biológicas con macroinvertebrados. Se realizaron nueve muestreos de macroinvertebrados en el periodo comprendido entre abril de 2018 a agosto de 2019, que fueron recolectados, caracterizados y evaluados con la metodología del BMWP/Col de Roldán y se midieron las variables fisicoquímicas de acuerdo con las recomendaciones del IDEAM y con sus valores se calcularon los índices: ICA, ICOTRO, ICOMO, ICOSUS e ICOMI. Se encuentran valores altos del ICOTRO, evidenciando hipereutrofia por lixiviados de fertilizantes de cultivos de café y descargas de aguas residuales e igualmente del ICOMO por la presencia de valores altos de coliformes totales. Se recolectaron 8 347 especímenes, siendo las familias más abundantes la Hydropsychidae con un 47,17 %, la Perlidae con 11,19 % y Leptophlebiidae con 7,89 % de la colecta. Sin embargo, estas tres familias que indican aguas de buena calidad se encontraron en las partes altas y medias del río Guachicos y la quebrada El Cedro. Los restantes valores de BMWP/Col evidencian aguas moderadamente contaminadas en las quebradas Aguas Negras y

Caney, muy contaminadas en La Maralla, y en El Cedro y el río Guachicos va deteriorando su calidad a medida que recorren los asentamientos y cultivos. Los resultados evidencian la necesidad de controlar la calidad de agua de las quebradas afluentes y de continuar con su monitoreo, tanto en la fuente principal como en las quebradas.

**Palabras clave:** *bioindicadores, macroinvertebrados, parámetros fisicoquímicos.*

## ABSTRACT

Water quality is an issue that affects the health and well-being of the community. This article consolidates several investigations in the micro-basin of the Guachicos River that supplies the aqueduct for 100,000 inhabitants of the urban area of Pitalito and five of its tributaries in the upper basin of the Magdalena River, monitoring physico-chemical and biological variables with macroinvertebrates. There were 9 samples of macroinvertebrates in the period from April 2018 to August 2019, which were collected, characterized and evaluated with the methodology of BMWP/Col de Roldán. The physicochemical variables were measured according to IDEAM's recommendations and the following indexes were calculated: ICA, ICOTRO, ICOMO, ICOSUS and ICOMI. There are high values of ICOTRO, evidencing hypereutrophy due to leachings of fertilizers from coffee crops and discharges of residual waters, and also of ICOMO due to the presence of high values of total coliforms. 8347 macroinvertebrates were collected, the most abundant families being the Hydropsychidae with 47,17 %, the Perlidae with 11,19 % and Leptophlebiidae with 7,89 % of the collection. These three families that indicate good quality waters were found in the upper and middle parts of the Guachicos River and the El Cedro Creek. The BMWP/Col values are more than 100 in the upper and middle parts of the Guachicos River and El Cedro Creek; values lower than 100 show moderately contaminated water in Aguas Negras and Caney Creek, highly contaminated in La Maralla, and in El Cedro and Guachicos River, deteriorating in quality as they flow through the settlements and crops. The results show the need to control the quality of water in the tributary streams and to continue monitoring it, both at the main source and in the streams.

**Keywords:** *Bioindicators, macroinvertebrates, physico-chemical parameters.*

## INTRODUCCIÓN

La supervivencia del hombre depende en gran medida del uso y aprovechamiento que se les dé a los recursos naturales disponibles, sin embargo, este no considera que sus acciones tengan consecuencias que pueden generar procesos de contaminación al medio ambiente, que a su vez repercuten directamente en afectaciones a su salud.

Uno de los principales afectados con esta falta de conciencia a nivel empresarial, gubernamental, pero también personal, es el recurso hídrico, que ha sido alterado por sustancias químicas agresivas que no se degradan en la naturaleza y que caen a las corrientes de agua, permaneciendo en ellas para generar graves afectaciones a la salud humana y a las especies que las consumen (Vargas-Ríos *et al.*, 2012).

Cuando se trata de realizar análisis para medir la calidad del agua se encuentran métodos que pueden tener más de 30 parámetros involucrados que permiten calcular índices en diferentes categorías como contaminación por materia orgánica o inorgánica, nivel de oxígeno, sólidos suspendidos y sólidos disueltos, características físicas y químicas y sustancias presentes en las corrientes de agua. Esto presenta como resultado un gran número de datos luego del monitoreo en una o varias fuentes de agua y, adicionalmente, el tratamiento e interpretación de la múltiple cantidad de datos generados puede ser dispendiosa y compleja, puesto que muchas veces es difícil de interpretar y requiere de una inversión económica cuantiosa (Samboní-Ruiz *et al.*, 2007).

Dentro de los factores que tienen incidencia en la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos, se incluye temperatura, color, turbiedad, oxígeno disuelto, pH, fósforo y conductividad eléctrica. A partir de estos valores se pueden calcular los sólidos totales (ST), fósforo total, coliformes totales y demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (Roldán-Pérez, 2003).

A partir de esos datos, se calculan el índice de calidad del agua (ICA) y los índices de contaminación (ICOS): índice de contaminación por mineralización (ICOMI), índice de contaminación orgánica (ICOMO), índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) y el índice de contaminación trófica del sistema (ICOTRO). Los anteriores tienen como objetivo presentar, mediante expresiones numéricas, las diferentes características de una fuente de agua, permitiendo definir su grado de calidad y localizar problemas asociados a contaminación con su utilización periódica (Ramírez *et al.*, 1997; Chavarro y Gélvez-Bernal, 2016). Además de estos índices se consideran también los monitoreos biológicos, como en el caso de macroinvertebrados, que pueden ofrecer una valoración numérica de las condiciones de calidad del agua; con los que, además, se pueden hacer series gráficas para facilitar la interpretación de los resultados.

La utilización de indicadores biológicos o bioindicadores se basa en el análisis de la alteración de las comunidades de organismos que habitan las corrientes de agua, debido a perturbaciones bien sea antrópicas o por el medio natural. Son relevantes porque evidencian los cambios en los ciclos de vida de los organismos, lo que permite hacer estudios en el tiempo, a diferencia de los indicadores fisicoquímicos, que representan las condiciones momentáneas del agua (Roldán-Pérez, 2003).

Es así como los macroinvertebrados se constituyen en un indicador fácil de medir en las corrientes acuáticas, pues mediante su valoración se puede deducir el índice de contaminación del agua (Roldán-Pérez, 2003; Roldán, 2006, Martínez-Rodríguez y Pinillas, 2014; Núñez y Fragoso-Castilla, 2019). Los macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua son muy utilizados por los investigadores, dado que son abundantes, tienen amplia distribución en los territorios y, debido a que son sedentarios, son fáciles de recolectar, además de que por esta característica son indicadores de las condiciones del hábitat, permitiendo medir los efectos ambientales en corto tiempo; por tener ciclos de vida largos, pueden también representar los efectos acumulativos de la contaminación. Además, se pueden clasificar a simple vista y pueden clasificarse fácilmente por sus respuestas a la contaminación (Roldán-Pérez, 2003; Roldán-Pérez, 2012).

Con lo expuesto anteriormente se evidencia la importancia de realizar análisis que permitan estudiar el comportamiento de la calidad de agua, tanto en fuentes principales como el río Guachicos, como también en sus principales afluentes, lo que se traduce en la posibilidad de contar con una línea base para la formulación de acciones y atención de las principales problemáticas que están aportando a la degradación y contaminación hídrica en la región; esto teniendo en cuenta que la fuente es la abastecedora de cerca de 150 000 habitantes tanto en la zona urbana como rural de Pitalito.

Finalmente, los proyectos que llevan a este estudio tenían como objetivo principal determinar la calidad de agua y sus variaciones en los principales afluentes que surten el acueducto del Municipio de Pitalito, mediante el análisis de macroinvertebrados y los índices de contaminación y calidad de agua.

## ANTECEDENTES

Como antecedentes de este tipo de investigaciones se tienen numerosos procesos desarrollados en departamentos como Antioquia por parte de Corantioquia y en Santander por Unipamplona, donde la metodología de macroinvertebrados se ha interiorizado por las comunidades y se tienen interesantes propuestas de monitoreo permanente de las fuentes hídricas.

La Universidad de Pamplona publicó en el 2005 el libro *Índices de Calidad y de Contaminación del Agua* acompañado por el software ICATEST, de los investigadores Nelson Josué Fernández Parada y Fredy Solano Ortega, que ha generado un número apreciable de investigaciones y publicaciones en el tema.

En Antioquia se lleva a cabo el proyecto Piragua, que cuenta con la financiación y apoyo de Corantioquia, un programa de gestión ambiental comunitario que organiza redes sociales de monitoreo y desarrolla sistemas de información del agua, tomando como base el registro de parámetros fisicoquímicos y de macroinvertebrados (Corantioquia, 2019).

En el departamento del Huila se tiene el reporte de la investigación de Méndez-Pedroza (2011), denominada *Análisis de la cantidad y calidad del recurso hídrico de los principales afluentes de la cuenca hidrográfica del río Guarapas, Departamento del Huila Colombia*, donde se encuentran problemas de contaminación por el uso de pesticidas y agroquímicos en cultivos de café, y se concluye que ninguna de las fuentes analizadas es apta para el consumo humano.

Así mismo, se tiene como antecedente la investigación realizada por Peña-Torres y Cortés-Enríquez (2015), con los estudiantes líderes ambientales que se capacitaron en el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) y posteriormente se profesionalizaron como ingenieros ambientales en la UNAD, donde se caracterizaron 18 fuentes hídricas en 21 veredas del municipio de Pitalito, midiendo parámetros fisicoquímicos e identificando macroinvertebrados con la metodología BMWP/Col; en este estudio se encontró que en las partes media y baja de las quebradas monitoreadas la calidad del agua estaba muy afectada por vertimientos agrícolas y domésticos.

Adicionalmente se encontró, en la indagación previa realizada, una investigación desarrollada por Cuellar-Torres (2015) denominada *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*.

El análisis se realiza en las fuentes que surten el municipio, donde se encontraron diferencias significativas en cuanto a la abundancia de macroinvertebrados dependiendo del régimen de lluvias.

Es por este motivo, que se considera importante que las universidades, en alianza con entes gubernamentales, ambientales y comunitarios, evalúen el impacto de las actividades antrópicas en los recursos hídricos, realizando estudios en la parte química, física y biológica, de una manera sistemática, que aporte datos científicos que permitan la toma de decisiones informadas para prevenir, mitigar y solucionar dichos impactos.

En este trabajo se presenta la investigación desarrollada en los años 2018 y 2019 por investigadores del grupo INYUMACIZO, consolidando proyectos de investigación financiados por la UNAD (PIES 19 – 2018 y Convocatoria SIGI 06 ) y trabajos de grado desarrollados por estudiantes del semillero Rosiyé, donde se evaluaron parámetros como la presencia de macroinvertebrados, que fueron medidos a partir de la metodología planteada por Roldán BMWP/Col, verificando estos resultados con el análisis fisicoquímicos en las cinco principales quebradas tributarias y el río Guachicos, que abastecen al acueducto del municipio de Pitalito.

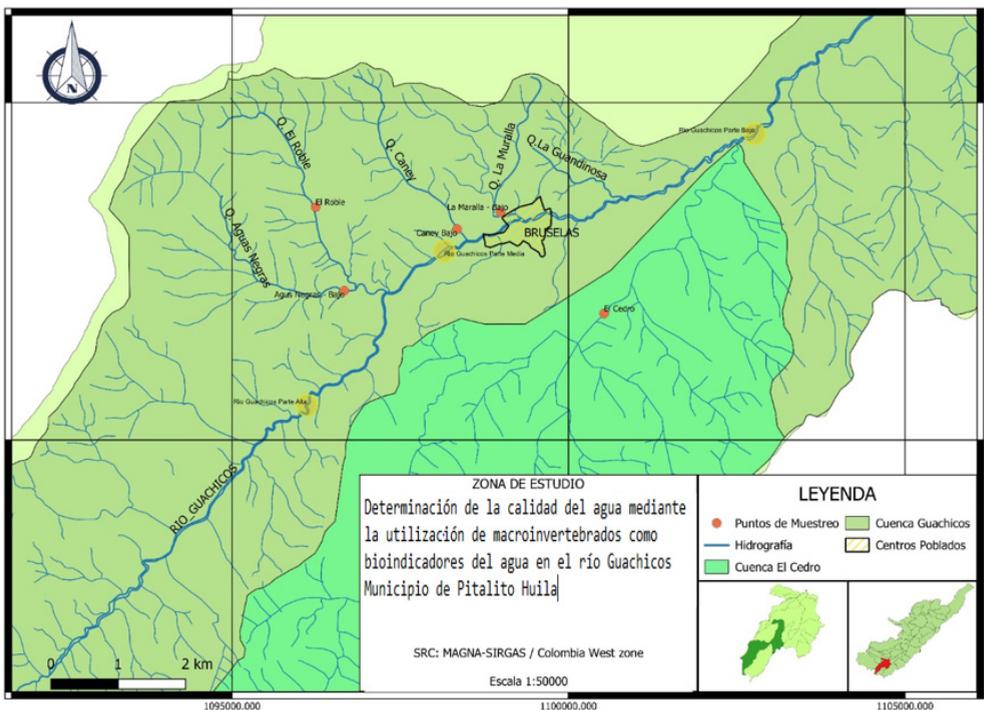
---

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio fue la cuenca del río Guachicos, que nace en la vereda Porvenir, corregimiento de Bruselas, en la parte alta del río Magdalena, como se aprecia en la figura 1, tiene un recorrido de 45 kilómetros y cuenta con 172 afluentes. Dentro de su recorrido tiene más de 5 000 hectáreas de bosques que el municipio ha adquirido y que sirven como un elemento de protección y conservación para fuente hídrica, que además de surtir de agua a la zona urbana del municipio, que cuenta con 100 000 habitantes, provee el agua a cuatro minidistritos de riego y es fuente abastecedora de los 39 acueductos veredales. Una característica importante es que en las riberas del Guachicos hay sembradas 4 500 hectáreas de café las cuales pertenecen a 2 500 familias cafeteras (CAM, 2012).

Las mediciones para las investigaciones de las variables fisicoquímicas se realizaron en el periodo comprendido entre abril de 2018 a febrero de 2019, en cuatro muestreos, cada dos meses, en las partes alta, media, la bocatoma del acueducto que abastece el municipio de Pitalito; y baja del río Guachicos y en las quebradas tributarias El Cedro, El Roble, El Caney, Aguas Negras y La Maralla, tal como se aprecia en la figura 1.

**FIGURA 1.** Mapa de la zona de estudio, donde se muestran los puntos de muestreo en las quebradas El Cedro, Maralla, Caney, Aguas Negras, El Roble y el río Guachicos



En la cuenca se presentan actividades domésticas y rurales, relacionadas con el cultivo de café y la explotación de animales como crías de pollos y piscícolas, además de que de estas quebradas se surten los acueductos veredales del corregimiento de Bruselas. Se presentan en las riberas de los cauces de agua vertimientos de aguas servidas, mala disposición de residuos domésticos y en época de cosecha las aguas se utilizan para el lavado del café y para disponer de los lixiviados del procesamiento, produciendo olores y cambio de color en las fuentes de agua (CAM, 2012).

## MÉTODOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

A continuación, se presenta la tabla de resumen de los métodos de medición utilizados para la realización de las investigaciones de las variables fisicoquímicas.

**TABLA 1.** Variables fisicoquímicas evaluadas

Parámetro	Toma de muestra	Método utilizado
pH, oxígeno disuelto, conductividad y temperatura	Toma de muestra en campo con sonda multiparamétrica	Guía para la toma y preservación de muestras TI0207 (IDEAM, 2010)
Dureza, alcalinidad,	Kit para determinación de la concentración en agua superficial	Hoja metodológica del indicador índice de calidad del agua (Versión 1,00) (IDEAM, s.f.)
Fósforo, fenol y nitritos	Muestra in situ con <i>Phosphate test kit</i> (colorimetría), <i>Nitrite test kit</i> (colorimetría) y <i>Phenol test kit</i> (colorimetría)	Hoja metodológica del indicador índice de calidad del agua (Versión 1,00) (IDEAM, s.f.)
Turbiedad, color verdadero, sólidos suspendidos totales	Método nefelométrico y método fotométrico, en laboratorio	TP 0088 Aspectos científicos y técnicos de la aplicación de los índices de calidad de agua en ríos (IDEAM, 2007a)
DBO	Método electrométrico, en el laboratorio de Ambilab	TP0087 Demanda bioquímica de oxígeno 5 días (IDEAM, 2007b)
DQO	Método de espectrometría, en el laboratorio de Empitalito	Hoja metodológica del indicador índice de calidad del agua (Versión 1,00) (IDEAM, s.f.)
Coliformes totales, Escherichia Coli	F x M, en el laboratorio de Empitalito	TP0423 Determinación de coliformes totales y E. coli de aguas mediante la técnica de sustrato definido y colilert por el método de Número Más Probable (IDEAM, 2007c)

Fuente: IDEAM, adaptado por las investigadoras.

Los cálculos del índice de calidad de agua (ICA), se realizaron de acuerdo con las ecuaciones presentadas en el documento: Aspectos científicos y técnicos de la aplicación de los índices de calidad de agua en ríos (IDEAM, 2007a).

Para los ICOS correspondientes a: ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOTRO se aplicó la metodología propuesta por Ramírez *et al.* (1997) Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación.

## MÉTODO DE ANÁLISIS DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS BMWP/COL

El estudio de macroinvertebrados, se ejecutó siguiendo las indicaciones del IDEAM (2006) en el documento denominado: *Macroinvertebrados acuáticos, determinación taxonómica-conteo*, realizando la medición en corrientes de agua con profundidades menores a 30 cm y haciendo una remoción de las piedras y la arena del lecho del río, para determinar la riqueza de familias por sitio de muestreo, utilizando el método *Biological Monitoring Working Party para Colombia* (BMW/Col) de acuerdo con las indicaciones de Roldán-Pérez (2003).

En cada sitio de muestreo se realizaron 10 colectas de la siguiente manera: 4 muestras a lo ancho del río, en las partes alta, media y baja, recolectando un total de 10 muestras por cada sitio, con una red pantalla de malla fina de un área aproximada de punto 9 m<sup>2</sup>, que se fija en el fondo de la corriente y dónde quedan depositados los macroinvertebrados que se recolectan en frascos de vidrio, debidamente marcados, con alcohol y formol, para su posterior clasificación en el laboratorio, de acuerdo a las guías presentadas por Roldán-Pérez (1998), el *Manual de Monitoreo del agua para el investigador local* de Silva (2008) y Roldán-Pérez (2016).

Para la clasificación se utilizó una lupa binocular estereoscópica identificando en cada individuo tamaño, color y formas de cabeza y patas, determinando especie, familia y género y registrando la cantidad de especímenes encontrada por fecha y punto de muestreo.

La determinación del nivel de contaminación se hizo utilizando la puntuación de Roldán con el índice biótico adaptado para ecosistemas acuáticos de montaña en Colombia BMW/Col, asignando un puntaje de 1 a 10 por cada familia encontrada, independientemente de la cantidad de individuos, siendo 10 el puntaje más alto que indica presencia de especies con muy baja tolerancia a la contaminación y por ende, muy buena calidad de agua y 1 para la presencia de familias con una muy alta tolerancia a la contaminación. Para el cálculo, se suman los puntajes asignados a cada familia y se da una valoración del índice.

**TABLA 2.** Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col

Familias	Puntaje
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hidridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolycopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydraenidae, Hydrometridae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae.	2
Tubificidae	1

Fuente: Roldán-Pérez (2012).

La calidad de agua se determina al sumar la puntuación obtenida por cada una de las familias encontradas en un ecosistema, luego de lo cual es posible determinar la calidad de agua y evidenciarlo en mapas o en diagramas que facilitan el entendimiento para los tomadores de decisiones o para las comunidades interesadas.

**TABLA 3.** Clases de calidad de agua, valores BMWP/Col, significado y colores

Clase	Calidad	BMWP/Col	Significado
I	Buena	150 101 - 120	Aguas muy limpias a limpias
II	Aceptable	61 - 100	Aguas ligeramente contaminadas
III	Dudosa	36 - 60	Aguas moderadamente contaminadas
IV	Crítica	16 - 35	Aguas muy contaminadas
V	Muy crítica	15 - 0	Aguas fuertemente contaminadas

Fuente: Roldán-Pérez (2012).

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

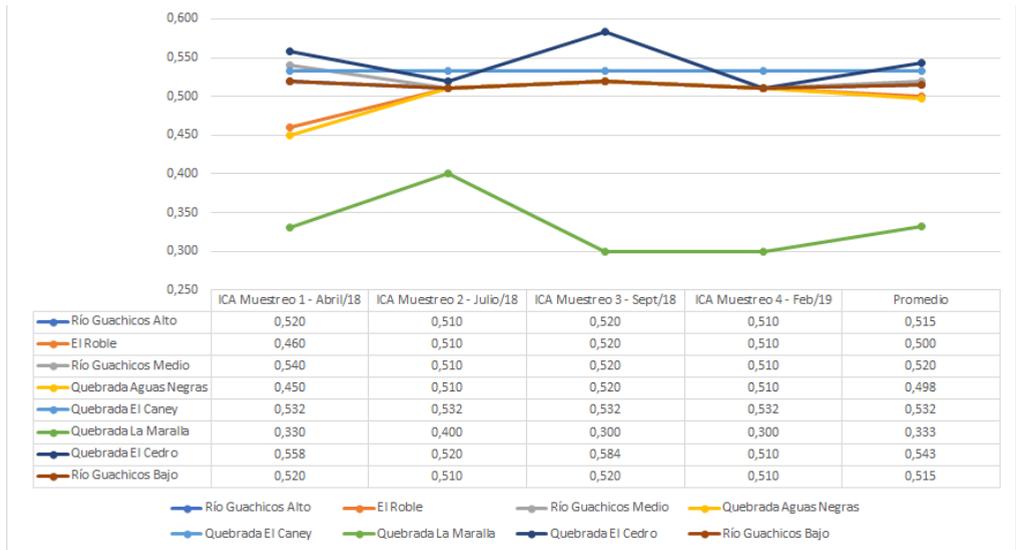
Se realizó un análisis estadístico descriptivo multivariado a partir de matrices de correlación. Todos los análisis se realizaron utilizando el análisis estadístico descriptivo multivariado y el análisis de componentes principales (PCA), haciendo uso del software PAST 3.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se presentan a continuación evidencian impactos debidos a las actividades antrópicas en la calidad de agua que consumen los habitantes del municipio y se convierten en una alerta para las instituciones que deben monitorear y controlar los vertimientos hechos al río Guachicos.

Los valores de las variables fisicoquímicas medidas para el cálculo del ICA e ICOS, se pueden observar en el anexo 1. El procesamiento de los datos se hizo de acuerdo con el IDEAM (2007a), que orienta el cálculo del índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA), como se aprecia en la figura 2.

**FIGURA 2. Gráfica del cálculo de ICA**

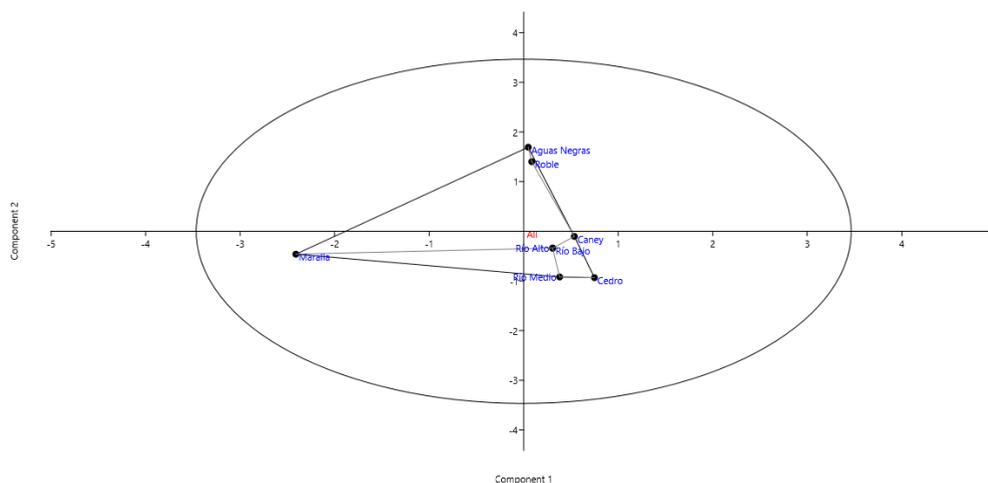


Fuente: elaboración propia.

Los valores promedio obtenidos para los tres puntos de muestreo del río Guachicos, las quebradas El Caney y el Cedro nos indican calidad de agua regular, dado que sus valores se encuentran entre de 0,515 y 0,543. Para las quebradas El Roble, Aguas Negras y La Maralla, se calcularon valores entre 0,333 y 0,500, que indican mala calidad de agua, de acuerdo con la valoración dada por el IDEAM (2006).

El resultado del análisis de componentes principales de los valores del ICA en las fechas de muestreo se presenta en la figura 3.

**FIGURA 3.** *Análisis de componentes principales para los valores del ICA*



Fuente: elaboración propia.

Se encuentran tres agrupaciones, las correspondientes al río Guachicos en las partes altas, media y baja y las quebradas El Cedro y El Caney, lo que nos ratifica el valor regular de su calidad de agua; otro correspondiente a El Roble y Aguas Negras, que presentan mala calidad de agua, pero que presentan valores superiores a 0,45 del ICA; y en otra agrupación la quebrada La Maralla que presenta calidad de agua altamente contaminada.

Al igual que los muestreos realizados sobre la quebrada Fucha en Cundinamarca, se evidencia que en las partes media y baja de las fuentes de agua se presentan deterioros por los vertimientos de las actividades antrópicas y la escorrentía de agroquímicos, lo que deteriora la calidad de agua (Chavarro y Gélvez-Bernal, 2016).

Los valores correspondientes al ICOMI, ICOTRO e ICOSUS van de 0 a 1, donde 0 a 0,2 indica ninguna contaminación, entre 0,2 y 0,4 baja contaminación, entre 0,4 y 0,6 media contaminación y entre 0,8 y 1,0 muy alta contaminación y son calculados a partir de los datos de los parámetros de la tabla 2. Los resultados se presentan a continuación.

**TABLA 5.** Valores promedio de los índices ICOMI, ICOTRO e ICOSUS

Corriente	ICOMI	ICOSUS	ICOMO
Río Guachicos Alto	0,224	0,082	
El Roble	0,226	0,096	0,540
Río Guachicos Medio	0,236	0,110	
Quebrada Aguas Negras	0,249	0,118	0,520
Quebrada El Caney	0,244	0,111	0,540
Quebrada La Maralla	0,248	0,128	0,720
Quebrada El Cedro	0,297	0,156	0,490
Río Guachicos Bajo	0,231	0,139	

Fuente: elaboración propia.

El índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI) integra los parámetros de conductividad que mide los sólidos disueltos, que para las muestras están en el rango entre 0 - 140 que indica aguas blandas, dureza que cuantifica los iones de calcio y magnesio, que indicó aguas blandas y alcalinidad, que totaliza con los aniones carbonatos y bicarbonatos, igualmente con valores bajos. Los valores calculados del ICOMI varían entre 0,227 y 0,297, que indica bajos niveles de contaminación.

El índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) se determina con el promedio de la concentración de sólidos suspendidos, haciendo relación a compuestos inorgánicos. Los valores encontrados son inferiores a 0,2, lo que indica bajos niveles de contaminación.

El índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) se calcula como el promedio entre la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno, mostrando únicamente la contaminación de origen orgánico, sin considerar otros tipos. Los valores encontrados para el ICOMO están en el rango de 0,4 a 0,6 que indica contaminación media, a excepción de la quebrada La Maralla que evidencia contaminación alta. Se encontró presencia de E. coli en las 5 quebradas estudiadas, aclarando que esta medición no se hizo en el cauce del río Guachicos por problemas logísticos.

Las aguas superficiales se encuentran expuestas a factores como las actividades antropogénicas, que en el caso de la cuenca corresponden a la producción de aguas residuales domésticas y de la agricultura y la ganadería en sus riberas (Azaro de Zumaeta, 2004), siendo la presencia de coliformes, que se encuentran en el tracto gastrointestinal de hombres y animales de sangre caliente, uno de los problemas más preocupantes en las cuestiones de salud, por la gravedad de las enfermedades que genera.

Los valores altos del ICOMO indican el aumento de la cantidad de materia orgánica por vertimientos y escorrentía, además de la los coliformes totales, lo que disminuye el valor de oxígeno disuelto (Chavarro y Gélvez-Bernal, 2016).

El valor promedio del ICOMO, indica una contaminación media por materia orgánica en las quebradas observadas, que es muy alta en la quebrada La Maralla, teniéndose en cuenta que en todas hay presencia de coliformes, lo que la hace inviable para el consumo humano.

Coincidiendo con los resultados, en la zona de estudio donde varias comunidades se abastecen de las quebradas de la cuenca para las aguas de uso doméstico y agrícola, Méndez-Pedroza (2011) reporta presencia de coliformes y de enfermedades como diarrea y problemas gastrointestinales, por lo que no son aptas para el consumo humano.

El índice de contaminación por trofia (ICOTRO) se mide a partir del valor de la concentración de fósforo total en mg/l, como se observa a continuación.

**TABLA 6.** Resultados de los valores del ICOTRO

	Primer Muestreo ICOTRO		Segundo Muestreo ICOTRO		Tercer Muestreo ICOTRO		Cuarto Muestreo ICOTRO		PROMEDIO ICOTRO	
Guachicos Alta	0	Oligotrofia	0	Oligotrofia	0	Oligotrofia	0	Oligotrofia	0	Oligotrofia
Guachicos Media	0	Oligotrofia	1	Hipereutrofia	0	Oligotrofia	0	Oligotrofia	0,25	Oligotrofia
Guachicos Baja	0	Oligotrofia	0	Oligotrofia	1	Hipereutrofia	1	Hipereutrofia	0,5	Hipereutrofia
Aguas Negras	0	Oligotrofia	1	Hipereutrofia	1	Hipereutrofia	1	Hipereutrofia	0,75	Hipereutrofia
El Roble	3	Hipereutrofia	2	Hipereutrofia	5	Hipereutrofia	5	Hipereutrofia	3,75	Hipereutrofia
Caney	0	Oligotrofia	0	Oligotrofia	0	Oligotrofia	1	Hipereutrofia	0,25	Hipereutrofia
Maralla	0	Oligotrofia	0	Oligotrofia	1	Hipereutrofia	5	Hipereutrofia	1,5	Hipereutrofia
El Cedro	0	Oligotrofia	1	Hipereutrofia	3	Hipereutrofia	1	Hipereutrofia	1,25	Hipereutrofia

Fuente: elaboración propia.

Los resultados indican hipereutrofia por lixiviados de fertilizantes fosforados del café y descargas de aguas residuales de asentamientos humanos en alguna medición en todos los puntos evaluados, a excepción de la parte alta del río Guachicos.

Investigaciones, realizadas por Quantis International, Agrosavia, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y Cenicafé (2020) y Romero-Gil (2019), relacionan la eutrofización de aguas dulces superficiales con escorrentías de fosfato soluble ( $PO_4$ ) a los suelos, debidos a la aplicación de abonos o fertilizantes.

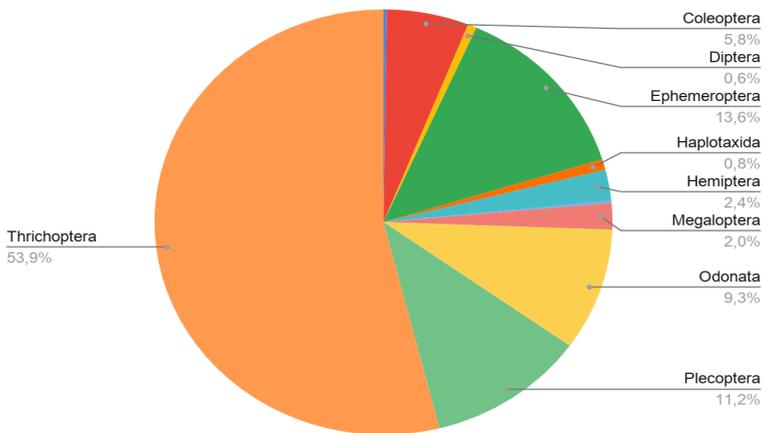
Los resultados de la presente investigación presentan similitudes a los encontrados por Knee y Encalada (2014), que encuentra valores de ICO relacionados a contaminación asociada a las poblaciones urbanas y a la escorrentía resultado de abonamientos de cultivos en las cuencas de la parte alta del Ecuador.

Si bien los diversos índices de calidad de agua son un elemento importante para la toma de decisiones en el contexto ecológico y ambiental, presentan debilidades en tanto que analizan unas pocas cualidades del agua y hay una gran cantidad de información que no se utiliza y que puede ocultar condiciones de riesgo (Ramírez *et al.*, 1997).

## RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL MÉTODO BMWP/COL

En cuanto a los resultados de la colecta de macroinvertebrados y su valoración con el índice BMWP/Col, se encontraron los siguientes datos:

**FIGURA 4.** Porcentaje de individuos colectados por orden



Fuente: elaboración propia.

De los 8 347 individuos colectados, se presentaron 11 órdenes, siendo el más abundante el Trichoptera, con 4 501 individuos (53,95 %), seguido de la Ephemeroptera con 1 134 (13,59 %), Plecoptera con 934 especímenes (11,20 %), Odonata con 774 individuos (9,28 %), Coleoptera con 484 (5,80 %), Hemiptera con 197 especímenes (2,36 %), Megaloptera con 167 individuos (2,00 %). Los restantes órdenes encontrados, Diptera, Haplaxida, Hirudinea y Basomatophora registran valores inferiores al 2 %.

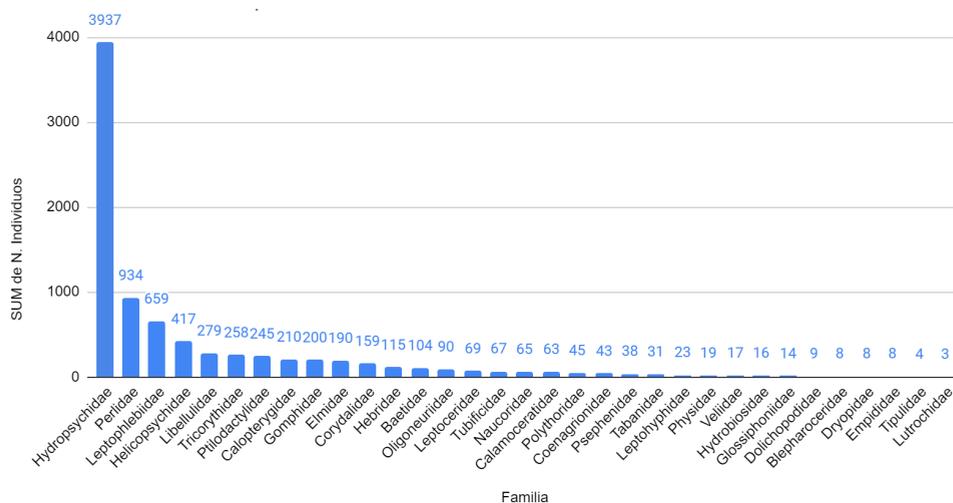
Los valores encontrados coinciden con los resultados de Peña y Cortés (2015), investigación realizada en Pitalito en el 2014, donde los órdenes más abundantes fueron Trichoptera, Odonata y Ephemeroptera y la investigación hecha por el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (2010), donde encuentra que la abundancia está en la Trichoptera con más del 50 % y la Ephemeroptera con un 21,15 %.

En otros estudios, como los que relaciona Cuellar-Torres (2015), se mencionan los mismos órdenes como los más representativos (Trichoptera, Coleoptera, Díptera y Ephemeroptera) en aguas del departamento del Magdalena y en Isnos Huila, se reporta la mayor abundancia de Plecoptera y Trichoptera, encontrando también como orden más abundante el Megaloptera.

Los Tricópteros, los Efemenópteros y los Odonatos son órdenes muy importantes en los ecosistemas pues sus larvas solo se encuentran en los sistemas acuáticos y presentan exigencia y sensibilidad en cuanto a su supervivencia en la calidad de agua (Laderra-Fernández, 2012). De acuerdo con investigadores del grupo Greunal, Vargas-Ríos *et al.* (2012), datos de abundante diversidad y de taxones y el porcentaje de Ephemeroptera y Trichoptera son indicadores de una buena calidad de agua.

Analizando la abundancia de estas órdenes por la ubicación en las fuentes de agua, se puede concluir para la presente investigación que en las partes altas y medias de la Quebrada El Cedro y el río Guachicos se presenta una buena calidad de agua, que se deteriora cuando se presentan acciones antrópicas y que no es buena en las quebradas La Maralla y Aguas Negras.

**FIGURA 5.** Abundancia de familias encontradas de macroinvertebrados bentónicos



Fuente: elaboración propia.

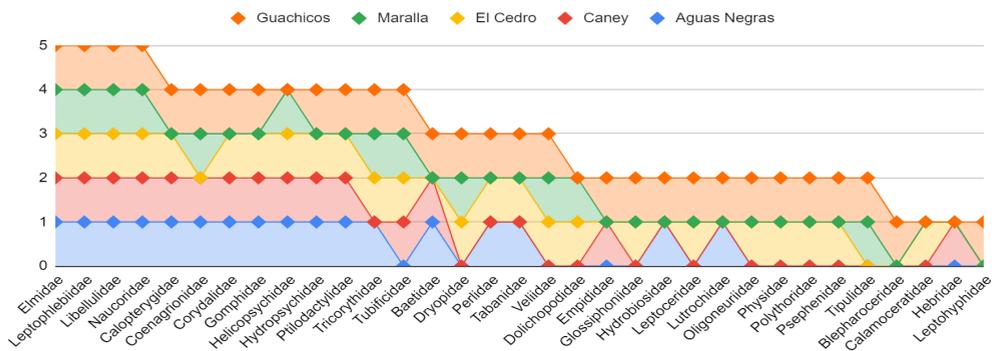
Se encontraron 33 familias, siendo la más abundante la Hydropsychidae, que cuenta con un índice BMWP/Col de 5, con 3 937 especímenes, que corresponden al 47,17 % de la colecta, siendo igualmente la más abundante en los cuatro puntos de río Guarapas y las quebradas El Cedro, El Caney y Aguas Negras; no se presenta en la Quebrada la Maralla.

La segunda familia más abundante es la Perlidae, con un BMWP/Col de 10, con presencia de 934 especímenes (en las quebradas Aguas Negras, El Cedro y el río Guarapas). La tercera familia en abundancia es la Leptophlebiidae con 658 individuos (7,89 %), con BMWP/Col de 8 que se encontró en la quebrada El Cedro y la Helicopsychidae, con BMWP/Col de 8, que se encontró en las quebradas Aguas Negras, El Cedro y Caney, con 417 registros y un 5,00 % de abundancia.

Siguen en número y con presencia en todas las fuentes: Libellulidae (BMWP/Col de 6 y 3,31 %) con presencia en todos los cauces de agua; Tricorythidae (BMWP/Col de 7 y 3,09 %) en Aguas Negras, El Cedro, Maralla y Guachicos. De la familia a (BMWP/Col de 10) se encontró el 2,94 % en Aguas Negras, Caney, El Cedro y Guachicos parte alta.

La familia Calopterygidae (BMWP/Col de 7) con un 2,51 % y presencia en Aguas Negras, Caney, El Cedro y el río Guachicos; Gomphidae (BMWP/Col de 10) con un 2,40 % esencialmente en El Cedro y el río Guachicos y Elmidae (BMWP/Col de 6) con el 2,25 % y presencia en Aguas Negras, El Cedro, Maralla y el río Guachicos. Las demás familias encontradas y su abundancia se pueden consultar en la figura 6.

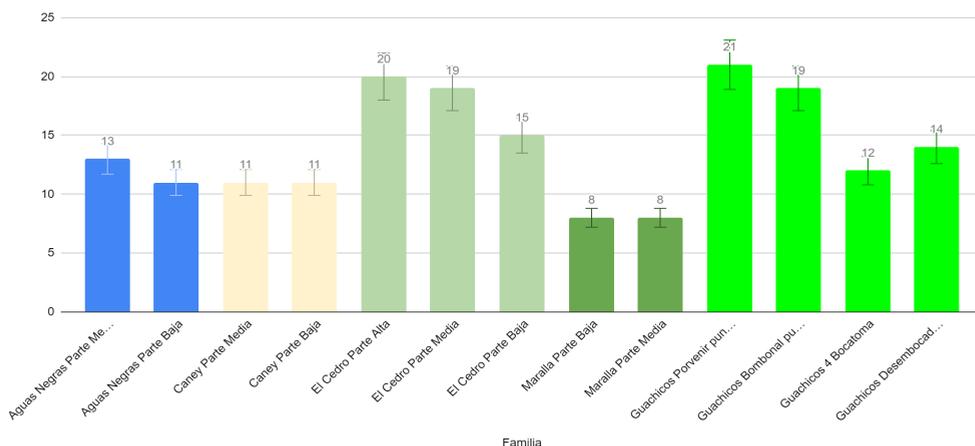
**FIGURA 6. Aparición de familias por fuente hídrica analizada**



Fuente: elaboración propia.

Cuatro familias, Elmidae, Leptophlebiidae, Libellulidae y Naucoridae, aparecen en todas las fuentes de agua analizadas; la familia más abundante Helicopsychidae, no se presenta en la quebrada La Maralla, siendo esta corriente la que presenta menos existencia de familias, con solo 12. La presencia de las familias se puede observar en la figura 7.

**FIGURA 7. Número de familias por fuente**



Fuente: elaboración propia.

Como se aprecia en la figura 7, se presenta una disminución en la aparición de familias de macroinvertebrados entre las partes media y baja de la quebrada Aguas Negras, El Cedro y en el río Guachicos hasta la bocatoma del acueducto, constatándose la ausencia de familias a medida que se avanza en el monitoreo, debido a la incidencia de la contaminación antrópica, como se reporta en otros estudios (Knee y Encalada, 2014; Cuellar-Torres, 2015; Peña y Cortes, 2015). En las quebradas Caney y Maralla esta cifra se mantiene constante. Los resultados de los valores del índice BMWP/Col encontrados, se pueden consultar en la tabla 4.

**TABLA 4.** Valores calculados del índice BMWP/Col en los afluentes del río Guachicos

Mes	Aguas Negras parte media	Aguas Negras parte baja	El Cedro parte alta	El Cedro parte media	El Cedro parte baja	Maralla parte media	Maralla parte baja	Caney parte media	Caney parte baja
Abril de 2018			141,0	71,0	22,0				
Mayo de 2018	66,0	90,0	156,0	93,0	46,0	37,0	20,0	39,0	48,0
Junio de 2018			110,0	86,0	63,0				
Julio de 2018	20,0	35,0	151,0	108,0	49,0	29,0	15,0	66,0	60,0
Agosto de 2018	49,0	52,0	165,0	94,0	52,0	40,0	34,0	60,0	57,0
Mayo de 2019					28,0				
Junio de 2019					41,0				
Julio de 2019					24,0				
Agosto de 2019					70,0				
Septiembre de 2019					40,0				
Promedio	45,0	59,0	144,6	90,4	43,5	35,3	23,0	55,0	55,0

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los datos obtenidos, se evidencia con valores numéricos que la quebrada El Cedro presenta buena calidad en la cabecera, aunque con valores del BMWP que varían de manera mínima, sin embargo, en su parte media disminuye un poco su calidad, pero dentro de los rangos de calidad aceptable o aguas ligeramente contaminadas. En la parte baja sí varía el valor del BMWP en 3 rangos, presentando su disminución en calidad de agua y un promedio de calidad de agua dudosa o agua moderadamente contaminada.

En la quebrada El Cedro fue donde se hizo la mayor cantidad de monitoreos, por ser el principal afluente del río Guachicos. Por otra parte, los otros 2 afluentes del Río Guachicos como son las quebradas Aguas Negras y Caney, presentaron un promedio del índice BMWP/Col en estado de calidad dudosa, es decir aguas moderadamente contaminadas, sin embargo, el tercer afluente que corresponde a La Maralla, presenta un valor en el índice de BMWP de aguas críticas o muy contaminadas tanto en la parte media como baja.

A manera de conclusión, en general en estos 3 afluentes estudiados las condiciones del indicador BMWP/Col presentan variaciones en los valores, sin embargo, en la parte baja hay valores menores lo que evidencia el deterioro de la calidad de agua debido a las actividades antrópicas, siendo más crítica en la quebrada La Maralla, que paradójicamente tiene en sus orillas varias fincas cafeteras certificadas por buenas prácticas agrícolas.

**TABLA 5.** Valores calculados del índice BMWP/Col en los afluentes el río Guachicos

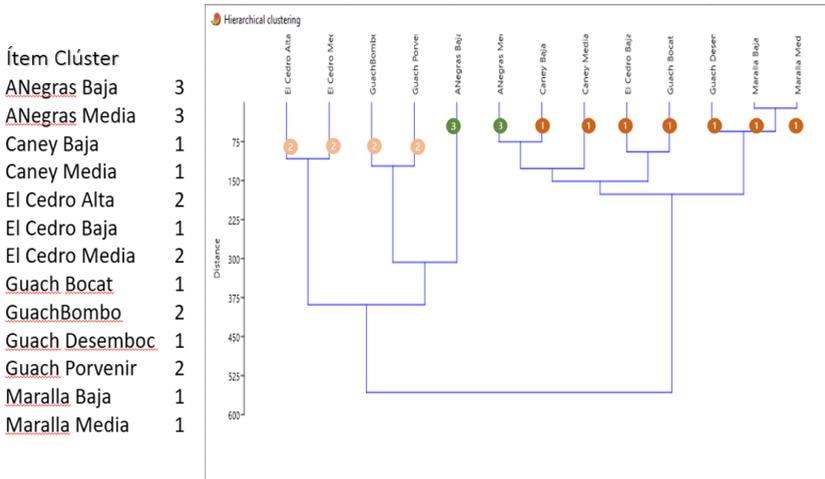
Mes	Guachicos Porvenir punto 1	Guachicos bombonal punto 2	Guachicos 4 bocatoma	Guachicos desembocadura punto 3
Marzo de 2018	114,0	95,0		31,0
Julio de 2018	59,0	86,0		0,0
Agosto de 2018	124,0	121,0		0,0
Septiembre de 2018	113,0	114,0		34,0
Mayo de 2019	60,0	68,0		27,0
Junio de 2019	83,0	58,0	55,0	16,0
Julio de 2019	61,0	70,0	20,0	18,0
Agosto de 2019	150,0	72,0	55,0	27,0
Septiembre de 2019	107,0	83,0	51,0	29,0
<b>Promedio</b>	<b>96,8</b>	<b>85,2</b>	<b>45,3</b>	<b>20,2</b>

Fuente: elaboración propia.

En el análisis de resultados se evidencia que en el río Guachicos se presentan fenómenos de contaminación antrópica, deteriorándose a medida que aumenta la densidad poblacional. Es de anotar que la recolección de agua para el acueducto municipal se hace luego de la colecta del punto 4 bocatoma, donde se presentan aguas contaminadas y muy contaminadas; ya se han recogido los vertimientos del corregimiento de Bruselas que tiene cerca de 30 000 habitantes. En el punto 3 desembocadura, el índice BMWP/Col muestra que el deterioro de la calidad de agua es aún más grave, luego de atravesar el área urbana de Pitalito y de la zona rural de otros tres corregimientos.

Los resultados encontrados coinciden con la situación de fuentes hídricas del norte del Ecuador en los Cantones de Junín y Cristopamba que presentan condiciones físicoquímicas y biológicas similares, reportadas por Knee y Encalada (2014), donde se indica que la calidad de agua que consumen las comunidades está directamente relacionada con las actividades antrópicas que se realicen en sus orillas.

**FIGURA 8.** Dendrograma que agrupa las quebradas de acuerdo con la composición de especies y la abundancia de macroinvertebrados



Fuente: elaboración propia.

Se identificaron 3 clústeres, el primero compuesto por las fuentes de agua con mayor contaminación: El Caney en las partes media y baja, el río Guachicos en la bocatoma y la desembocadura, La Maralla en las partes media y baja y El Cedro en la parte baja; un segundo clúster en El Cedro parte alta y media y en el río Guachicos en El Porvenir y Bombonal, donde se presenta menos contaminación y un tercer clúster, en la quebrada Aguas Negras, en sus partes media y baja, que presenta particularidades en la presencia de familias de macroinvertebrados.

Al verificar si hay diferencias significativas entre las medias de las muestras tomadas en los diferentes meses, para encontrar si hay influencia de la cosecha de café que se presenta en mitaca (cosecha pequeña) en los meses de abril a mayo y la cosecha principal entre septiembre y noviembre, con los meses en los cuales no hay emisión de lixiviados de las prácticas de beneficio de café, se aplicó una ANOVA.

Los resultados encontrados indican que existen diferencias significativas ( $P$ -value  $< 0.05$ ) entre los valores medios de las muestras en cada uno de los meses revisados (mayo a septiembre de 2018 y de mayo a septiembre de 2019). Como prueba de confirmación, se aplicó una prueba de Kruskal-Wallis, que arrojó valores de  $p(\text{same}): 2.924E-07$ , lo que indica que hay diferencias significativas entre las muestras.

Esto implica que las actividades productivas relacionadas con la producción de café, además del lulo, la granadilla y las actividades piscícolas en las riveras, afectan la calidad de agua medida a partir de la valoración de los macroinvertebrados.

---

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los análisis de esta investigación se evidencia la necesidad de intervenir no solamente las actividades agrícolas y pecuarias en las orillas del río Guachicos, sino también recuperar los cauces de las quebradas afluentes, pues presentan evidencias de contaminación por actividades antropogénicas.

Se encontraron valores altos de ICOMO de 0,5 en El Roble, Aguas Negras, Caney y El Cedro, indicando grado de contaminación media y de 0,72 en Maralla, encontrándose la presencia de coliformes totales, lo que hace esta agua no apta para el consumo humano. Para el ICOTRO, se reportaron valores de hipereutrofia de entre 1 y 5 para los muestreos correspondientes a la parte baja del río Guachicos y todos los afluentes consultados, esencialmente por los niveles altos de fosfato, indicador de problemas con escorrentía del suelo por abonamiento de café y por vertimientos.

La determinación de los índices de calidad de agua y de contaminación mediante las metodologías utilizadas, incorporan de una manera exitosa de valoración cuantitativa en la zona de estudio, teniendo en cuenta que se incluyen diferentes parámetros, lo que puede llevar a recomendar una limitación en los usos del agua del afluente.

En las partes altas del río Guachicos y la quebrada El Cedro, en todas las mediciones se presentan valores del índice BMWP/Col superiores a 100, indicando baja afectación por las actividades antrópicas. En las partes media y baja de las corrientes de agua estudiadas, la calidad del agua se deteriora y aunque también presenta variaciones en los valores, la fluctuación indica aguas dudosas a críticas, es decir, aguas moderadamente contaminadas a muy contaminadas, que son consumidas en las actividades cotidianas de los habitantes de las riveras y se usan para el procesamiento del café, incidiendo directamente en su salud.

El punto sobre el río Guachicos de la bocatoma del acueducto de Pitalito, que abastece de agua a 100 000 habitantes, presenta un índice de BMWP/Col de 45,3, o sea que indica aguas de calidad dudosa, un aspecto que se debe revisar y tomar medidas para mitigar la contaminación del agua de esta importante fuente.

A medida que el agua realiza el recorrido por sus cauces, en la parte media y baja, donde se encuentran sitios habitados con actividades agropecuarias y de producción de café, se van agudizando los índices de contaminación y se encuentran situaciones alarmantes, como la presencia de coliformes a lo largo de las quebradas y la evidencia de procesos de eutrofización por las inadecuadas prácticas de abonamiento de los cafetales y disposición de aguas de lavado y beneficio del café.

Las diferencias significativas en la calidad de agua en los meses estudiados (abril 2018 a septiembre del 2019), permite evidenciar que hay afectación por las inadecuadas prácticas en la cosecha de café en la zona y por ello se sugiere que se amplíe la investigación.

Este tipo de investigaciones son importantes, ya que, aunque se tenían evidencias de la contaminación en la cuenca abastecedora del acueducto de Pitalito, no estaba documentada con evidencias científicas.

Se espera dar continuidad a este tipo de investigaciones, relacionando nuevas variables e incorporando otros índices que orienten la toma de decisiones informadas a los organismos encargados de suministrar el agua y de esta manera obtener soportes concretos que permitan a los tomadores de decisiones incidir directamente en la calidad de vida de las comunidades.

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aurazo de Zumaeta, M. (2004). Aspectos biológicos de la calidad del agua. En L. Vargas (Coord.), *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría*. (Tomo I, pp. 57-98). Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. [http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1\\_tomo1\\_indice.pdf](http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1_tomo1_indice.pdf)

Chavarro, A. G. y Gélvez-Bernal, E. J. (2016). Caracterización de la calidad de las aguas de la quebrada Fucha utilizando los índices de contaminación ICO con respecto a la precipitación y usos del suelo. *Revista Mutis*, 6(2), 19-31. <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1148>

Corantioquia. (2019). *Piragua | Red Automática*. <http://www.piraguacorantioquia.com.co/consultas/>

Corporación Autónoma Regional del Alto del Magdalena (CAM). (2012). *Plan de Ordenamiento y Manejo de la cuenca Hidrográfica del río Guarapas*. <http://hdl.handle.net/20.500.11762/22589>

Cuellar-Torres, B.M. (2015). *Variaciones espaciales en las comunidades de macroinvertebrados acuáticos de las quebradas Helechuzal y Banderas que 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>

Fernández-Parada, N. J. y Solano-Ortega, F. (2005). *Índices de Calidad y de Contaminación del Agua*. Universidad de Pamplona. <https://n9.cl/akbj5>

IDEAM. (s.f.). *Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00)*. <https://n9.cl/rwn2>

IDEAM. (2006). *Macroinvertebrados acuáticos, determinación taxonómica-conteo*. <https://n9.cl/17xvg>

IDEAM. (2007a). *Aspectos científicos y técnicos de la aplicación de los índices de calidad de agua en ríos*. <https://n9.cl/mgepv>

IDEAM, (2007b). *Demanda bioquímica de oxígeno 5 días, incubación y electrometría*. <https://n9.cl/ral6>

IDEAM. (2007c). *Determinación de Coliformes totales y E. Coli de aguas mediante la técnica de sustrato definido, colilert por el método de Numero Más Probable*. <https://n9.cl/rwn2>

IDEAM. (2010). *Toma de muestras de aguas superficiales Red Ideam*. <https://n9.cl/z6i2a>

Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico. (2010). *Valoración Ecológica, Socioeconómica y Ambiental de Ecosistemas Acuáticos en el Municipio de Mistrató, Risaralda*. Alcaldía del municipio de Mistrató. <https://cutt.ly/ALLcWav>

Knee, K. y Encalada, A. (2014). Land use and water quality in a rural cloud forest region (Intag, Ecuador). *River Research and Applications*, 30(3), 385-401. <https://doi.org/10.1002/rra.2634>

Martínez-Rodríguez, M. y Pinillas, G. (2014). Valoración de la calidad del agua de tres ciénagas del departamento de Cesar mediante macroinvertebrados asociados a *Eichhornia crassipes*. *Caldasia*, 36(2), 305-321. <http://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v36n2.47489>

Méndez-Pedroza, N. M. (2011). *Análisis de la cantidad y calidad del recurso hídrico de los principales afluentes de la cuenca hidrográfica del río Guarapas, Departamento del Huila Colombia*. [Memoria de la Investigación Tutelada]. Universidad Católica de Ávila

Núñez, J. C. y Fragoso-Castilla, P. J. (2019). Uso de Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación del Agua de la Ciénaga Mata de Palma (Colombia). *Información tecnológica*, 30(5), 319-330. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500319>

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.

Quantis International, Agrosavia, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y Cenicafé. (2020). *Huella ambiental de café en Colombia. Documento guía*. <https://n9.cl/5kxy>

Ramírez, A., Restrepo, R. y Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación. *CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(3), 135-153.

Roldán-Pérez, G. (1998). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*. Fondo Fen Colombia, Colciencias, Universidad de Antioquia.

Roldán-Pérez, G. (2003). *Bioindicación de la calidad de agua en Colombia. Propuesta para el uso del método BMWP/Col*. Editorial Universidad de Antioquia.

Roldán-Pérez, G. (2012). *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua*. CAR. <http://www.ianas.com/docs/books/wbp12.pdf>

Roldán-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 254-274. <http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.335>

Romero Gil, I. (2019). *Eutrofización. Carga crítica de fósforo*. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/116293>

Samboní-Ruiz, N., Carvajal-Escobar y Escobar, J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181.

Silva, L. A. (2008). *Manual de monitoreo del agua para el investigador local*. Instituto de Investigación en Recursos Biológicos. <https://n9.cl/81m8h>

Vargas-Ríos, O., Díaz-Triana, J. E., Reyes-Bejarano, S. P. y Gómez-Ruiz, P. A. (2012). *Guías técnicas para la restauración ecológica de los ecosistemas de Colombia*. Grupo de Restauración Ecológica GREUNAL. Departamento de Biología Universidad Nacional de Colombia. <https://n9.cl/ze4c4>

## ANEXO 1. Valores de variables fisicoquímicas

Fuente		Río Gua-chicos Alta	El Roble	Río Gua-chicos Media	Aguas negras	Caney	La Maralla	El Cedro	Río Gua-chicos Baja	Prome-dio	Desv. Estándar
Punto	Fechas	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Pun-to 7	Punto 8		
OD mg/L	abr-18	7,4	6,98	7,61	7,02	6,46	6,44	6,85	6,67	6,93	0,42
	jul-18	2,06	2,83	3,21	2,88	2,77	2,77	3,05	3,11	2,84	0,35
	sep-18	7,69	7,61	8,36	7,72	7,3	6,7	8,45	8,46	7,79	0,62
	feb-19	7,24	6,88	7,24	7,1	6,13	6,19	6,57	6,52	6,73	0,45
% OD	abr-18	89,83	87,6	92,6	88,4	78,8	82,2	87,2	85	86,45	4,37
	jul-18	24,62	35,1	38,87	36,07	34,5	35,07	38,13	38,67	35,13	4,59
	sep-18	93,93	95,4	101,67	96,53	91,27	84,7	104,03	103,53	96,38	6,62
	feb-19	69,46	72,6	77,7	73,67	68,2	67,32	76,46	75,73	72,64	3,94
°C	abr-18	14,82	17,3	16,26	17,85	18,18	19,11	19,09	19,32	17,74	1,57
	jul-18	14,6	16,85	15,92	17,44	17,6	18,41	17,89	17,96	17,08	1,26
	sep-18	15,18	17,28	15,95	17,4	17,53	18,24	17,17	17,25	17,00	0,97
	feb-19	16	17,8	17,5	18,1	19,7	20,03	20,06	21,03	18,78	1,69
Alcalini-dad ml	abr-18	0,39	0,1	0,3	0,15	0,2	0,15	0,1	0,12	0,19	0,10
	jul-18	0,2	0,24	0,2	0,15	0,18	0,23	0,15	0,11	0,18	0,04
	sep-18	0,45	0,45	0,4	0,1	0,1	0,01	0,01	0,01	0,19	0,20
	feb-19	0,12	0,14	0,12	0,16	0,12	0,2	0,15	0,13	0,14	0,03
Coli-formes totales	sep-18		5333		5799	19998	34800	9666		15119,20	12259,79
	feb-19		5200		5100	5800	8100	6250		6090,00	3283,34
Color aparente UPC	abr-18	10,6	10,7	12,3	16	24	60,4	33	16,5	22,94	16,95
	jul-18	9,6		10,9	11,3	18	66	14,7	13,1	20,51	20,10
	sep-18	6,5	8,9	7,1	7,6	19,6	91	10,5	10,7	20,24	28,89
	feb-19	5,4	10,9	6,7	8,4	20,7	43,8	11,9	12,5	15,04	12,53
Conduc-tividad	abr-18	51,2	72	53,6	76,7	72,6	99,2	64,1	66,5	69,49	15,00
	sep-18	55,3	70,3	57,6	77,2	78,2	138,7	61,8	66,1	75,65	26,82
	feb-19	62,6	84,5	64,9	90,2	87,3	125,5	69	74,2	82,28	20,33
Conduc-tividad uS/cm	abr-18	53,33	75	56,33	80,67	76,06	102,33	62,67	69	71,92	15,63
	jul-18	50,33	69,33	53	70	70,33	111	58	61,33	67,92	19,06
	sep-18	55,33	76	58,33	84,33	85,33	145,67	65	71	80,12	28,68
	feb-19	53	73,44	55,89	78,33	77,24	119,67	61,89	67,11	73,32	20,96
DBO5	abr-18	2,61	2,48	2,42	4,71	2,51	4,8	5,46	4,48	3,68	1,29
	jul-18	2,94	2,58	2,4	2,76	3,45	2,22	2,56	3	2,74	0,39
	sep-18	2,52	7,18	15,33	4,62	22,28	20,3	3,24	10,62	10,76	7,74
	feb-19	44,85	39,6	45,27	42,54	42,84	44,37	26,07	30,57	39,51	7,23

DQO mg O/L	abr-18	7,4	6,5	8,1	9	8,6	11	11,5	9,4	8,94	1,70
	jul-18	4		4,5	4,9	7,9	16,7	5,5	4,9	6,91	4,83
	sep-18	3	<3	<3	<3	17,2	>100	4,5	3,9		
	feb-19	2,7	2,5	2,2	2,6	5,8	10,5	2,4	4,5	4,15	2,86
Dureza ml	abr-18	0,3	0,15	0,2	0,1	0,11	0,11	0,06	0,13	0,15	0,07
	jul-18	0,07	0,09	0,05	0,56	0,04	0,11	0,06	0,05	0,13	0,18
	sep-18	0,05	0,1	0,5	0,1	0,06	0,1	0,08	0,07	0,13	0,15
	feb-19	0,06	0,09	0,06	0,1	0,07	0,15	0,1	0,1	0,09	0,03
Escherichia coli	sep-18		2400		1600	4200	9400	3560		4232,00	3185,35
	feb-19		3140		1660	960	1500	3860		2224,00	1475,01
Fenoles	sep-18	0,1	0,1	0,12	0,13	0,1	0	0,1	0,1	0,09	0,04
	feb-19	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0,01	0,04
Fósforo mg/l	abr-18	0	3	0	0	0	0	0	0	0,38	1,06
	jul-18	0	2	1	1	0	0	1	0	0,63	0,74
	sep-18	5	5	0	1	0	1	3	1	2,00	2,07
	feb-19	0	5	0	1	1	5	1	0	1,63	2,13
Nitratos	sep-18	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
Nitritos mg/l	abr-18	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
	jul-18	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
	sep-18	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
	feb-19	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
pH	abr-18	7,02	4,52	6,56	6,71	6,8	6,6	6,75	6,63	6,45	0,79
	jul-18	6,33	6,28	6,28	6,62	6,41	6,64	6,67	6,64	6,48	0,17
	sep-18	6,77	6,53	6,74	6,92	7,01	7,03	7,28	7,17	6,93	0,24
	feb-19	7,7	7,6	7,7	8,4	7,5	7,4	7,8	7,4	7,69	0,32
SST	abr-18	4,96	4,89	4,96	5,41	4,83	4,77	5,02	4,77	4,95	0,21
	jul-18	3,17	3,13	3,17	3,46	3,09	3,05	3,21	3,05	3,17	0,13
	sep-18	2,03	2	2,03	2,22	1,98	1,95	2,06	1,95	2,03	0,09
	feb-19	1,3	1,28	1,3	1,42	1,27	1,25	1,32	1,25	1,30	0,05
Turbiedad UNT	abr-18	3,08	4,97	4,05	5,61	6,08	12,9	18,7	7,17	7,82	5,31
	jul-18	1,34		3,07	6,08	8,9	5,69	8,59	6,18	5,69	3,23
	sep-18	1,4	1,98	1,61	2,04	4,44	7,93	2,75	3,2	3,17	2,16
	feb-19	0,98	2,51	1,7	2,72	4,62	42,2	4,97	4,34	8,01	13,89
uS/cmA	abr-18	43	64	46,67	70	66,33	91	41	62	60,50	16,68
	jul-18	40,67	59	44	60	60,67	97	50	53,33	58,08	17,38
	sep-18	45	65	48,33	72	73	127	56	60,33	68,33	25,77

Fuente: elaboración propia.

## 1.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE) EN NEIVA, HUILA: ANÁLISIS DE LA GENERACIÓN, MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS ELECTRÓNICOS

---

Catherine Johana Jaimes Silva

Doctoranda en Gerencia y Política Educativa, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Neiva y Colombia. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente.

Catherine.jaimes@unad.edu.co

Juan Pablo Herrera Cerquera

Magíster en Marketing Digital, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Neiva, Colombia. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Juanp.herrera@unad.edu.co

---

### RESUMEN

A nivel mundial el manejo de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) aumenta en la medida en que el ser humano busca adquirir lo más moderno del mercado, ello implica la renovación de un AEE y el acelerado crecimiento de las tecnologías. Luego de su adquisición y del cumplimiento de vida útil, se convierten en residuos que conllevaran a una problemática social y ambiental; ya que hay pocas empresas formales que se dedican al reciclaje y recuperación de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). En Colombia se han realizado algunos avances frente a los RAEE, al proyectar normatividades que se transformaron en políticas nacionales, para estos residuos electrónicos. Sin embargo, a nivel municipal aún no existe información precisa sobre esta problemática, que haga posible la correcta disposición de los AEE. En esta investigación se realizó una caracterización de RAEE, donde participaron 100 empresas de diferentes sectores; industrial, educativo, salud, entre otros; del municipio de Neiva, con el fin de determinar la generación de RAEE e identificar y evaluar la capacidad de las tecnologías apropiadas para el aprovechamiento y disposición final. Como resultado

se obtuvo que solo 69 % de las empresas tiene una periodicidad de recolección, por lo que se sugiere al municipio realizar alianzas con los diferentes gestores de una recolección responsable; no solo, para estas empresas, si no para el municipio en general, con el fin de generar una educación ambiental en los individuos de las 10 comunas del municipio de Neiva. El análisis de esta información permitió reconocer si las empresas contaban con una gestión adecuada en cuanto a la generación, recolección, manejo y disposición final de este tipo de residuos. Por lo que fue posible identificar que los AEE de informática y telecomunicaciones son los que presentan mayor impacto dentro del estudio, ya que su acumulación en sitios no apropiados genera contaminación en fuentes hídricas, atmosféricas y otros recursos naturales. Finalmente, esta investigación puede proporcionar proyectos futuros en relación a los RAEE, como lo es la evaluación de los sistemas de recolección de los residuos electrónicos o la cantidad de gases de efecto invernadero que pueden generar los AEE y ofrecer información a los poderes públicos, empresas de cualquier actividad económica, para que amplíen sus conocimientos e interpreten más acertadamente los datos de RAEE a nivel global.

***Palabras clave: recolección, almacenamiento, periodicidad, contaminación, categorización, aparatos electrónicos.***

---

## ABSTRACT

Worldwide, the handling of Electrical and Electronic Equipment (EEE) increases to the extent that human beings seek to acquire the most modern on the market, this implies the renewal of an EEE. Hence, the accelerated growth of technologies and the needs of the population to acquire them. After their acquisition and fulfillment of useful life, they become waste that will lead to a social and environmental problem; since there are few formal companies that are dedicated to recycling and recovery of WEEE. In Colombia, some progress has been made against WEEE and regulations have been projected that have become national policies for this electronic waste. However, at the municipal level there is still no precise information about the incorrect disposition of EEE. In this research a characterization of WEEE was carried out, where 100 companies from different sectors participated; Industrial, Educational, Health, among others; from Neiva city, in order to determine the generation of WEEE and identify and evaluate the capacity of the appropriate technologies for the use and final disposal. As a result, it was obtained that only 69 % of the companies have a collection periodicity, so it is suggested that the municipality make alliances with the different managers of a responsible collection; not only for these companies, but also for the municipality in general, in order to generate an environmental education in the citizens of the 10

communes of the municipality of Neiva. In addition, it was obtained that the IT and Telecommunications EEE are the ones with the greatest impact within the study, since their accumulation in inappropriate sites generates contamination in water sources, atmospheric sources and other natural resources. Furthermore, the analysis of this information allowed us to recognize whether the companies had adequate management in terms of the generation, collection, handling and final disposal of this type of waste. Finally, this research can provide future projects in relation to WEEE, such as the evaluation of electronic waste collection systems or the amount of greenhouse gases that EEE can generate and offer information to public authorities, companies of any economic activity; so that they broaden, their knowledge and more accurately interpret WEEE data globally.

*Keywords: collection, storage, periodicity, pollution, categorization, electronic devices.*

---

## INTRODUCCIÓN

Los residuos electrónicos, definidos por la Organización para la Cooperación y el desarrollo Económico (OCDE, 2009, p. 56) como “cualquier dispositivo que utilice un suministro de energía eléctrica, que haya alcanzado el fin de su vida útil”, se han convertido globalmente como uno de los nuevos retos del desarrollo tecnológico. Tal desafío deviene de la composición de estos dispositivos, ya que contienen diferentes elementos tóxicos, que al final de la vida útil requieren un tratamiento adecuado para prevenir un impacto negativo en la salud de las personas y el medio ambiente.

Por esto, los retos y oportunidades alrededor de la gestión adecuada de los RAEE han hecho que los formuladores de políticas en el mundo señalen a los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos como un objetivo prioritario de regulación bajo el principio de la responsabilidad extendida del productor (REP). Thomas Lindhqvist (2000) nos enuncia que, el anteriormente mencionado, es un enfoque de política bajo el cual los productores tienen una responsabilidad significativa, financiera o física, para el tratamiento o la eliminación de los productos posconsumo. Asignar tal responsabilidad podría en principio ofrecer incentivos para evitar los desechos en la fuente, promover el diseño del producto para el medio ambiente y apoyar el logro de las metas públicas de reciclaje y manejo de materiales.

Por otra parte, La OCDE define REP como un enfoque de política ambiental en el cual la responsabilidad de un productor, físico y / o financiero, para un producto se extiende a la etapa posterior al consumo del ciclo de vida de un producto. Existen dos características relacionadas de la política de REP: (1) el cambio de responsabilidad (física o económica, total o parcialmente) hacia el productor y fuera de los municipios, y (2) el incentivo a los productores a incorporar consideraciones ambientales en el diseño de sus productos. Por otro lado, para Michael Johnson y Ian McCarthy (2014) la legislación de responsabilidad de los productores es una fuerza motriz detrás de la adopción de iniciativas de remanufactura ya que “se centra en el tratamiento de los productos de consumo al final del uso y tiene como objetivo principal aumentar la cantidad y el grado de recuperación del producto y minimizar el impacto ambiental de materiales de desecho” (p. 75).

Esto, para que con instrumentos de regulación directa o proveyendo los incentivos necesarios, los productores de los aparatos eléctricos y electrónicos implementen sistemas que recolecten en forma separada los RAEE y realicen procesos de reutilización, reciclaje y otras formas de aprovechamiento de los residuos, a fin de reducir su disposición final y contribuir al uso eficiente de los recursos y a la recuperación de materias primas secundarias valiosas. Bajo estos modelos, y como resultado de la de la generación de incentivos acertados, se registra anualmente tasas crecientes de recolección de RAEE que se tratan en sistemas formales, bajo procesos y prácticas adecuadas.

En los países de pequeñas economías y en desarrollo (PEED), la evolución de normatividad y políticas públicas relacionadas explícitamente con RAEE es un fenómeno reciente. En América Latina, de acuerdo con GSMA Latin America (2015), algunos PEED cuentan hoy en día con una ley nacional que involucra aspectos de la gestión integral de RAEE bajo el principio de una REP, incluyendo en algunos casos el concepto de responsabilidad compartida. Según este reporte del 2015, dentro de los PEED con ley general relacionada se encuentran: Brasil en 2010, Colombia en 2013, Costa Rica en 2010, Ecuador 2011, México con una última reforma publicada en 2015, Perú en 2012 y, más recientemente, Chile en 2016. Otros países no industrializados que cuentan con legislación nacional sobre RAEE son, por ejemplo, Taiwán desde 1998 (Shen *et al.*, 2012), China desde 2006 (Wang *et al.*, 2013), e India desde 2011 (Ministry of Environment and Forests, 2016), entre otros. Algunas de estas leyes nacionales son, en realidad, para la gestión de residuos municipales, y apenas incluyen algunos aspectos de RAEE, sin embargo, durante los últimos 5 años, algunos de estos países han publicado acuerdos sectoriales o normas oficiales que instrumentalizan lo específico dispuesto por la ley nacional (Méndez-Fajardo, 2016).

De ahí que, durante los últimos años, la temática de los RAEE en diversos países ha comenzado a instalarse en las agendas nacionales, tanto en los sectores públicos y privados como en organizaciones de la sociedad civil. La preocupación por esta clase de residuos se debe a aquellas características que los diferencian de otras corrientes de residuos, como los domiciliarios y los peligrosos. Entre ellas, las siguientes: su potencial de aprovechamiento, al tener materiales recuperables de alto valor; la presencia de elementos tóxicos que, aunque están presentes en una proporción mínima, requieren de un manejo ambientalmente adecuado que resguarde el medio ambiente y la salud pública; y sus volúmenes y ritmo acelerado de crecimiento, determinados por los fenómenos de recambio tecnológico.

Frente a la necesidad de lograr una gestión ambientalmente segura de estos residuos, diversos países latinoamericanos han emprendido acciones diversas, tales como la elaboración de diagnósticos, actividades de recolección de residuos existentes, campañas de educación a la población, reuniones, seminarios, mesas de trabajo colectivas, propuestas normativas, e incluso la creación de normativas referidas específicamente a los RAEE (Boeni *et al.*, 2009).

En Colombia específicamente se promulga la Ley 1672 del 19 de julio de 2013, “por la cual se establecen los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) y se dictan otras disposiciones”. Esta tiene por objeto, según el artículo 1°, establecer los lineamientos para la política pública de gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) generados en el territorio nacional. Los RAEE son residuos de manejo diferenciado que deben gestionarse de acuerdo con las directrices que para el efecto establezca el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Luego se establece el decreto 284 de 2018 el cual tiene por objeto reglamentar la gestión integral de los residuos eléctricos y electrónicos, con el fin de prevenir y minimizar los impactos adversos al medio ambiente. Las disposiciones de este decreto aplican para todo el territorio nacional a los productores, comercializadores, usuarios o consumidores de aparatos eléctricos y electrónicos y a los gestores RAEE, así como las autoridades involucradas en la gestión integral de los aparatos y sus residuos. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establecerá los lineamientos y requisitos que deberán cumplir los sistemas de recolección y gestión de RAEE a cargo de productores y los indicadores de gestión por resultados para su evaluación y monitoreo.

Según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, los aparatos electrónicos están diseñados con una gran variedad de materiales, algunos de los cuales son materias primas escasas y valiosas que ameritan ser recuperadas, sin embargo, pueden contener elementos o compuestos peligrosos, que, si bien no generan problema duran-

te su uso, se convierten en un peligro cuando se liberan al medio ambiente. En términos generales, la composición de los RAEE, es muy diversa y puede contener más de 1 000 sustancias diferentes, que caen bajo las categorías de no peligrosos y peligrosos.

Los elementos potencialmente peligrosos pueden representar un 3 % de la composición total de los RAEE, encontrándose en estos materiales ferrosos y no ferrosos, plásticos, vidrio, madera, tarjetas de circuito impreso, cerámica y otros artículos. El hierro y el acero constituyen aproximadamente el 50 % de los RAEE seguidos de los plásticos (21 %), los metales no ferrosos (13 %) y otros constituyentes. Los metales no ferrosos consisten en metales como el cobre, aluminio y metales preciosos como la plata el oro, el platino y el paladio.

En este contexto, los RAEE se han convertido en una problemática alarmante por su rápido crecimiento de productividad de equipos tales como computadores y teléfonos celulares provenientes de Estados Unidos y Europa, además por su excesivo consumo en los países Latinoamericanos y del Caribe (Hoorweg y Bhada-Tata, 2012). Es así como en las ciudades y aglomeraciones urbanas se generan una gran cantidad de basura. Se estima que en el 2012 las ciudades a nivel global generaron aproximadamente 1,3 billones de toneladas de basura (Król *et al.*, 2016).

Uno de los flujos de basura más importantes, generada por los humanos, son los RAEE, los cuales tienen un alto potencial de reciclaje (Nowakowski, 2017), ya que contiene materiales como metales, plásticos y vidrio, entre otros, los cuales se reciclan fácilmente; no obstante, contienen algunas sustancias peligrosas que causan problemas de gran magnitud de salud y al medio ambiente (Król *et al.*, 2016).

Ahora bien, la realidad de Colombia no es ajena a los problemas mencionados, ya que el centro de investigación reporta que el 7 % de estos dispositivos terminan en el relleno sanitario o en manos de un reciclador. A pesar de existir empresas gestoras encargadas de la recolección de estos residuos, no se están llevando a cabo los lineamientos nacionales para cada una de las etapas que enmarcan la gestión integral de los RAEE relacionadas con el manejo, recolección, almacenamiento, etiquetado, transporte, reúso, reacondicionamiento, reutilización, reparación, reciclaje, desensamble manual y mecánico, descontaminación, fundición, refinación térmica y química, e incineración y disposición final en rellenos sanitarios y rellenos de seguridad (López *et al.*, 2019).

Los reportes indican que, a nivel municipal, por medio de las campañas Opitatón, en el año 2018; se recolectaron 106 toneladas de RAEE y en el año 2019, 46,3 toneladas provenientes de los municipios de Neiva, Oporapa, Gigante, Palermo, Algeciras, Baraya, Tesalia, Pitalito, San Agustín, Campoalegre y Teruel (Herrera y Jaimes, 2018).

Lo anterior indica que con este crecimiento acelerado de las tecnologías, influenciado por los avances tecnológicos y las modas, los AEE se renueven constantemente.

“Todos los países latinoamericanos, en mayor o menor medida, están viviendo profundas transformaciones derivadas de los avances de los procesos de reestructuración socioeconómica y de difusión y adopción de las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación, como partes constitutivas del fenómeno de la globalización” (Cetre, 2015).

En la actualidad, el crecimiento poblacional y los avances tecnológicos tienen repercusiones en la calidad de vida y el ambiente, presentando problemáticas ambientales importantes que afectan la salud de las personas y efectos adversos en el hombre, en los animales, vegetales o materiales expuestos a dosis que sobrepasen los niveles aceptables en la naturaleza (Andrade *et al.*, 2019).

Esto ha dado lugar a la gran cantidad de residuos, basados principalmente en la producción de AEE por medio del uso de materiales como el oro, mercurio, zinc, bromo, entre otros; los cuales al ser dispuestos indiscriminadamente se convierten en materiales altamente tóxicos para los seres humanos y el medio ambiente (Casas *et al.*, 2015). Pero además de estos elementos tóxicos, los AEE contienen cantidades considerables de metales valiosos, como oro y plata, que podrían ser usados nuevamente en la creación de tecnologías sin tener que explotar los recursos naturales.

De ahí que los RAEE son una importante fuente secundaria de metales valiosos y críticos. La innovación perpetua de los AEE de consumo dio lugar a propiedades materiales y de forma de los productos muy variables, con una complejidad creciente (Chancerel y Rotter, 2009). Por tanto, la composición elemental de los dispositivos desechados también es muy variable y compleja (Hadi *et al.*, 2015). Un smartphone moderno incluye hasta 58 elementos en diversas concentraciones y composición química (Bloodworth, 2014). Por lo tanto, las estrategias de reciclaje novedosas deben considerar la selectividad para la recuperación de metales de estos materiales complejos. La implementación adecuada de nuevas estrategias de reciclaje orientadas a la recuperación de recursos puede contribuir a controlar los riesgos ambientales asociados con los RAEE gestionados de forma inadecuada.

En los últimos años se han realizado considerables esfuerzos de investigación para desarrollar procesos biotecnológicos respetuosos con el medio ambiente. La selectividad hacia metales individuales, la rentabilidad y la ecoinnovación son las ventajas potenciales de los procesos biotecnológicos (Mahmoud *et al.*, 2017).

Se prevé que desempeñen un papel importante en el desarrollo sostenible, en particular para los sectores metalúrgico, químico y de procesamiento de residuos (OECD, 2009)

Actualmente, los RAEE de alta calidad se tratan en instalaciones pirometalúrgicas de alta temperatura, para recuperar la valiosa fracción metálica de los dispositivos al final de su vida útil (Ebin y Isik, 2016). Varias investigaciones sobre la recuperación hidrometalúrgica de metales a partir de RAEE también han resultado satisfactorias y económicamente viables en diversos niveles de preparación tecnológica (Li *et al.*, 2011). Las biotecnologías pueden ofrecer alternativas prometedoras a la tecnología pirometalúrgica en la recuperación de metales a partir de desechos posconsumo.

La biohidrometalurgia ya es una ruta establecida para procesar minerales primarios de muchos metales (Morin *et al.*, 2006) y puede desempeñar un papel importante en la extracción urbana de materias primas críticas en el futuro. La selectividad hacia metales críticos y valiosos puede ser una gran ventaja de las biotecnologías sobre los métodos convencionales de recuperación química (Muñoz *et al.*, 2017). Además, pueden ofrecer ventajas en cuanto a rentabilidad y menor impacto medioambiental (Ilyas y Lee, 2014).

Finalmente hay otros avances en la generación global de RAEE y los metales críticos que contiene y se centra en el uso de biotecnologías para recuperar metales tanto críticos como convencionales de estos flujos de residuos. Específicamente, en los desarrollos recientes en el bioprocesamiento mediante estrategias biotecnológicas tan diversas como la biolixiviación autótrofa y heterótrofa, la biosorción, bioprecipitación y recuperación bioelectroquímica (Işildar *et al.*, 2019). Así las cosas, si con la cantidad de residuos tecnológicos que tenemos en la actualidad es posible crear nuevos AEE para el uso de los seres humanos, entonces se debería acabar con la obsolescencia que tienen los productos, ya que debido a esto se está generando una mayor cantidad de residuos que tienen un impacto en el ambiente y en los seres humanos.

Es por lo anterior, que con el desarrollo de esta investigación se busca analizar la gestión de los RAEE en el municipio de Neiva y brindar soluciones futuras para el manejo, tratamiento y disposición final a nivel municipal, regional, nacional e internacional. Involucrando para esto a diferentes actores, tales como organismos gubernamentales, importadores, productores y comercializadores, que mantengan el dialogo en planes amplios que permitan la combinación de reacondicionamiento y reciclamiento como oportunidad de incluir iniciativas educativas motivadas socialmente y orientadas a salvar la brecha digital mediante la recuperación de recursos y la generación de actividades económicas. Así como también, ofrecer oportunidades para enfoques nuevos e innovadores.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología aplicada para la investigación es cuantitativa, dado que se realiza el análisis, comprobación de información y datos sobre los RAEE, además, es de enunciar que el alcance de la caracterización para este proyecto será observacional transversal descriptivo (Ruíz-Durán *et al.*, 2017) realizado en el municipio de Neiva, Huila, en el periodo de febrero de 2018 a febrero de 2019; constituido por 79 empresas correspondiente al 79 % de 100 contempladas y autorizadas por la CAM.

El instrumento que se maneja para la recolección de la información sobre la caracterización de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, fue diseñado con base en las encuestas manejadas por el Instituto de Hidrología y Meteorología de Estudios Ambientales (IDEAM), con definiciones estándares y preguntas sobre la generación de RESPEL, estableciéndose como factores las diferentes variables en cuanto a plan de gestión integral de residuos peligrosos, empresas gestoras, periodicidad de recolección, tratamiento y disposición final.

Para la toma de información se aplicó la encuesta de manera asincrónica, por medio de la herramienta Google, donde cada empresa diligenciaba la información solicitada para el diagnóstico ambiental en cumplimiento a la política pública de gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) generados en el territorio nacional, establecida en la Ley 1672 de 2013. Los RAEE son residuos de manejo diferenciado que deben gestionarse de acuerdo con las directrices que para el efecto establezca el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. De esta manera, se podía llevar un seguimiento de la recopilación de los datos suministrados por las organizaciones.

---

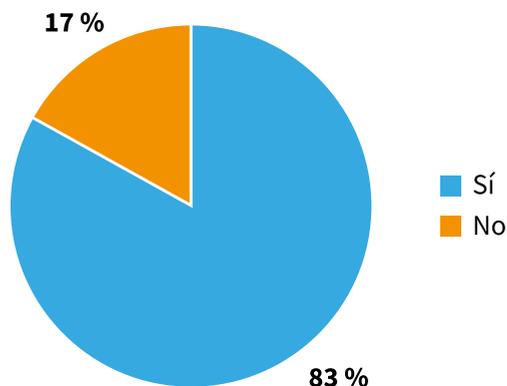
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la información de las bases de datos suministrada por la CAM y los resultados obtenidos de la encuesta aplicada, resulto la siguiente caracterización.

En la figura 1, se visualiza que de las 78 empresas encuestadas, el 83 % cuenta con un plan de gestión integral de residuos sólidos peligrosos (PGIRSP) y el 17 % restante no, es de entender que las empresas encuestadas están inscritas en el registro de generadores, razón por la cual en su gran mayoría tienen contemplado un plan para el adecuado manejo de sus residuos sólidos peligrosos, sin embargo, existían temores o desconocimien-

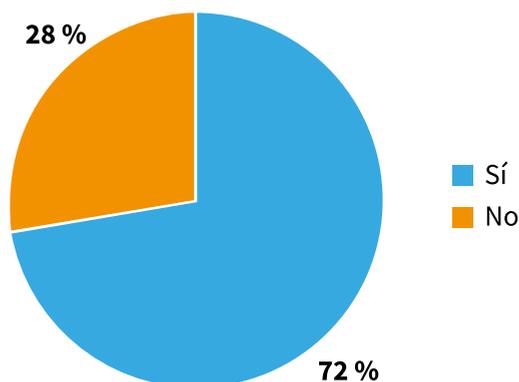
tos con el manejo adecuado del segmento de residuos peligrosos como son los RAEE; un ejemplo de ello se evidencia en la figura 2, pues el porcentaje de estas empresas que hacen recolección y almacenamiento, disminuye en relación a la figura 1.

**FIGURA 1.** *Plan de gestión integral de residuos sólidos peligrosos*



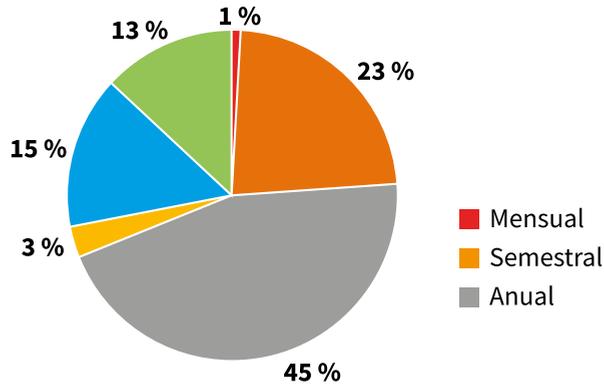
Fuente: elaboración propia.

**FIGURA 2.** *Recolección y almacenamiento de RAEE*



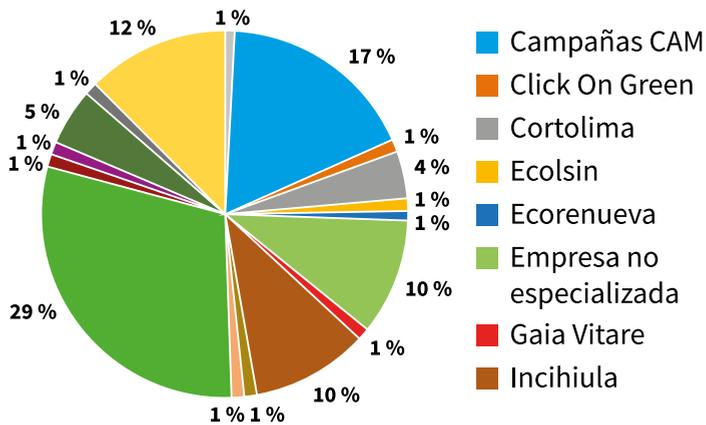
Fuente: elaboración propia.

Con la pregunta de la periodicidad de recolección (figura 3) de los RAEE, se buscaba entender la dinámica de generación, manejo y disposición final, con estos resultados, se logra inferir ese desconocimiento en el manejo adecuado, un 13 % nunca hacían disposición final, es decir, almacenaban sus residuos como antigüedades de la empresa, un 15 % manifestó que hacían la disposición con la generación, el 3 % con las campañas OPITATÓN, realizadas por la CAM de manera semestral 23 % o anual 45 %, consiguiendo que las empresas mejoren su conocimiento y realicen una adecuada disposición final de estos residuos electrónicos.

**FIGURA 3.** Periodicidad de recolección de RAEE

Fuente: elaboración propia.

En la figura 4 se puede observar que gran parte de las empresas cuentan con organizaciones de recaudar RAEE con el fin de garantizar una adecuada recuperación, reúso, tratamiento, valorización y finalmente la disposición final de los mismos.

**FIGURA 4.** Disposición final de RAEE

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 1 se presenta la clasificación de RAEE según la directiva europea, donde los resultados de esta investigación muestran que los equipos de mayor generación de residuos son los equipos de informática y telecomunicaciones y en términos de peso los de grandes electrodomésticos; siendo el primero el más relevante debido a que si no se lleva a cabo un buen manejo y disposición de estos aparatos eléctricos y electrónicos se pueden generar daños muy graves al medio ambiente y a las personas que los manipulan por las sustancias que componen estos dispositivos, tales como mercurio, cadmio o bromo.

**TABLA 1.** *Categorización de RAEE*

Categorización de RAEE	Genera	Tratamiento o aprovechamiento	Disposición final	Und.	Kg	%
Grandes electrodomésticos	72	33	30	724	30 512,1	85,5
Pequeños electrodomésticos	29	15	9	139	1 269,3	3,55
Equipos de informática y telecomunicaciones	241	56	82	1 347	2 673,1	7,49
Aparatos electrónicos de consumo	57	18	17	480	390,6	1,09
Herramientas eléctricas y electrónicas	27	8	12	464	419,7	1,17
Juguetes, equipos deportivos y de tiempo libre	1	0	1	3	9,0	0,02
Aparatos médicos	8	0	1	164	7,0	0,01
Instrumentos de medida y control	20	4	6	35	56,1	0,15
Máquinas expendedoras	8	1	6	8	339,0	0,95
<b>Total</b>				3 364	35 675,9	100

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con lo anterior, uno de los temas más cruciales y de importancia en la comunidad científica, en cuanto a RAEE y según Bakhiyi *et al.* (2018, p. 86) “es el volumen creciente, que presentan estos residuos en poco tiempo”; a nivel mundial, Ikhlayel (2017) muestra que para el año 2017:

“se calculó una generación aproximada de 44,77 millones de toneladas métricas (Mt), de las cuales, solo el 8,9 Mt se documentó y recolectaron para un reciclaje adecuado. En cuanto al continente americano, se estima que se genera 11,3 Mt, de los cuales solo se documenta el 1,9 Mt. Donde la tasa de crecimiento anual está entre 3 a 5 %” (p. 95).

En el caso de Colombia, Pérez (2017) indica que la generación de residuos de aparatos electrónicos creció un 19,17 % y actualmente según datos de El tiempo (2017) producen alrededor de 130.000 toneladas anuales. Por todo lo anterior, para “el 2021 se espera tener aproximadamente 52,2 Mt a nivel global” según lo enunciado por Baldé *et al.* (2017, p. 38).

Ante este panorama, la eliminación de los RAEE ha tenido una gran relevancia en la actualidad y para poder hacerle frente, muchas entidades gubernamentales, asociaciones y personas naturales en general, han hecho estudios para mitigar su impacto. Por lo que se ve la necesidad de plantear alternativas que ayuden a su recolección y disposición final, dado que las cantidades procesadas todavía se realizan a un nivel básico, ya que ni los marcos políticos de los diferentes países, ni la infraestructura logística permiten procesarlos a mayor escala (Boeni *et al.*, 2009). Por consiguiente, se requiere una guía teórica para el proceso de recolección, ya que hasta ahora se encuentra poco sistematizado y, por ende, se busca aprovechar la experiencia pasada y hacer frente a la electrónica, enfocándose en los productores, consumidores y recicladores (Zeng y Li, 2016).

Por otro lado, a nivel municipal las campañas Opitatón, resultaron ser un escenario de gran importancia en la región, donde se logra recolectar, en el año 2018, 106 toneladas de RAEE y en el año 2019 46.3 toneladas, provenientes de los municipios de Neiva, Oporapa, Gigante, Palermo, Algeciras, Baraya, Tesalia, Pitalito, San Agustín, Campoalegre y Teruel (Herrera y Jaimes, 2018); evitando así que estos residuos sean acumulados, debido a la costumbre de almacenarlos, pensando en que puedan servir como repuestos sin tener en cuenta las implicaciones ambientales y las posibles enfermedades asociadas, además; disponiéndolos en zonas no adecuadas, impactando ecosistemas. Es por ello la importancia de estas campañas, que logran que las empresas de los diferentes municipios en mención realicen una disposición adecuada de los RAEE.

---

## CONCLUSIONES

A partir de la caracterización de los RAEE en la ciudad de Neiva se logró determinar que las empresas no tienen conocimiento de los residuos que estos aparatos generan. Como se observa en la figura 3, de las 78 empresas el 69 % tiene una periodicidad de recolección, por lo que se sugiere al municipio realizar alianzas con los diferentes gestores de una recolección responsable; no solo, para estas empresas, si no para el municipio en general, con el fin de generar una educación ambiental en los individuos de las 10 comunas del municipio de Neiva.

Con esta investigación se logra determinar, de acuerdo a la clasificación europea, que la cantidad de residuos sólidos generados por las empresas de Neiva es 3364 unidades, lo que equivale a 35 675,9 Kg, esto conlleva a que se fomente en las organizaciones capacitaciones sobre el tema RAEE, por parte de la CAM y en apoyo con la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Rural Sostenible.

Según lo observado dentro de la caracterización, se pudo identificar que el 90 % de las empresas sí realiza disposición final contando con centro de acopios o de almacenamiento, teniendo una periodicidad media anual, lo cual indica que las demás empresas deben unificarse a este manejo adecuado de los RAEE, con el fin de que se genere conciencia ambiental y se continúe con la clasificación, el buen manejo, la garantía del aprovechamiento de los materiales y una buena disposición final de estos aparatos. Además, para que esto funcione de manera adecuada, las personas encargadas de cada una de las empresas deben asumir roles y responsabilidades específicas en la gestión de estos.

Es importante, enunciar que, con esta investigación, se pueden desarrollar otros proyectos futuros en relación a los RAEE, como lo es la evaluación de los sistemas de recolección de los residuos electrónicos y los efectos que pueden traer en relación al cambio climático. Con esto se pueden proponer soluciones que contribuyan a la sensibilización por parte de los productores y los consumidores, frente a la generación de RAEE.

---

## RECOMENDACIONES

El municipio de Neiva en las 10 comunas debe implementar puntos de recolección, donde los consumidores finales depositen sus RAEE. Se sugiere que las empresas productoras y comercializadoras, apoyadas por las autoridades competentes del municipio, realicen o brinden capacitación a las personas sobre el manejo y disposición de los RAEE cuando han terminado su vida útil.

También, es de vital importancia que las personas de las 10 comunas de Neiva sean capacitadas por las autoridades competentes sobre los gases de efecto de invernadero que pueden generar los AEE al planeta tierra y las posibles consecuencias en la salud de las personas.

El municipio de Neiva puede gestionar convenios con empresas certificadas en el tratamiento de residuos para el aprovechamiento de algunos elementos como los son el oro, la plata, cobre, hierro, entre otros materiales que son aprovechables para el posterior reusó en el sector industrial.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena por facilitarnos información sobre las bases de datos de las empresas que generan residuos peligrosos, a nuestros estudiantes de la UNAD en articulación con el SISSU desde el curso proyecto pedagógico social Unadista, como apoyo al diligenciamiento de las encuestas, a la UNAD por permitirnos desarrollar este proyecto de investigación que tenga un impacto en el municipio y a Dios ante todo por permitirnos continuar día a día para el desarrollo del mismo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, V. P., Ortega, J. G., Andrade, G. P. y Andrade J. P. (2019). *Nociones sobre economía ambiental*. Editorial Grupo Compás.

Baldé, C. P., Forti, V., Gray, V., Kuehr, R. y Stegmann, P. (2017). *The Global Ewaste Monitor 2017*. United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA).

Bakhiyi, B., Gravel, S., Ceballos, D., Flynn, M. A. y Zayed, J. (2018). Has the question of e-waste opened a Pandora's box? An overview of unpredictable issues and challenges. *Environment International*, 110, 173–192. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.10.021>

Boeni, H., Silva, U. y Ott, D. (2009). Reciclaje de residuos electrónicos en América Latina. Panorama general, desafíos y potencial. En U. Silva (Ed.), *Gestión de residuos electrónicos en América Latina* (pp. 51-66). Ediciones SUR.

Bloodworth, A. (2014, 02 de enero). Track flows to manage technology-metal supply. *Nature*, 505(7481), 19–20. <https://doi.org/10.1038/505019a>

Casas, J. J., Ceron, K., Vidal, C. J., Peña, C.C. y Osorio, J. C. (2015). Priorización multicriterio de un residuo de aparato eléctrico y electrónico. *Ingeniería y Desarrollo*, 33(2), 172-197. <http://dx.doi.org/10.14482/inde.33.2.6309>

Cetre, M. (2015). La financiarización como una de las transformaciones de las ciudades latinoamericanas. *Revista Republicana*, (18), 113-133. <http://ojs.urepublicana.edu.co/index.php/revistarepublicana/article/view/210>

Congreso de Colombia. (19 de julio de 2013). Por la cual se establecen los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), y se dictan otras disposiciones. [Ley 1672 de 2013]. DO: 48.856.

Chancerel, P. y Rotter, S. (2009). Recycling-oriented characterization of small waste electrical and electronic equipment. *Waste management*, 29(8), 2336-2352. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.04.003>

Ebin, B. y Isik, M. I. (2016). Pyrometallurgical processes for the recovery of metals from WEEE. En A. Chagnes, C. Ekberg, T. Retegan, G. Cote y M. Nilsson (Eds.), *WEEE Recycling* (pp. 107-137). Elsevier.

EL TIEMPO. (2017, 06 de junio). *Colombia produce cada año 130.000 toneladas de basura electrónica*. <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/basura-electronica-en-colombia-96280>

GSMA TM. (2015). *eWaste en Colombia: El aporte de los operadores móviles en la reducción de la basura electrónica - Estudio de caso*.

Hadi, P., Xu, M., Lin, C. S., Hui, C. W. y McKay, G. (2015). Waste printed circuit board recycling techniques and product utilization. *Journal of hazardous materials*, 283, 234-243. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.09.032>

Herrera, J. C. y Jaimes, C. S. (2018, junio). En alianza para la conservación del medio ambiente. *Uniendo distancias*. <https://es.calameo.com/read/004140476065ba2ec562a>

Hoornweg, D. y Bhada-Tata, P. (2012). *What a waste: A Global Review of Solid Waste Management*. Urban development series; knowledge papers n.º. 15. World Bank. <http://hdl.handle.net/10986/17388>

Işıldar, A., van Hullebusch, E. D., Lenz, M., Du Laing, G., Marra, A., Cesaro, A., Panda, S., Akcil, A., Kucuker, M. A. y Kuchta, K. (2019). Biotechnological strategies for the recovery of valuable and critical raw materials from waste electrical and electronic equipment (WEEE)—A review. *Journal of hazardous materials*, 362, 467-481. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.08.050>

Ikhlayel, M. (2017). Environmental impacts and benefits of state-of-the-art technologies for E-waste management. *Waste management*, 68, 458-474. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.06.038>

Johnson, M. R. y McCarthy, I. P. (2014). Product recovery decisions within the context of Extended Producer Responsibility. *Journal of Engineering and Technology Management*, 34, 9-28. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2013.11.002>

Król, A., Nowakowski, P. y Mrówczyn, B. (2016). How to improve WEEE management? Novel approach in mobile collection with application of artificial intelligence, *Waste management*, 50, 222-233. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.02.033>

Li, L., Hu, Q., Zeng, J., Qi, H. y Zhuang, G. (2011). Resistance and biosorption mechanism of silver ions by *Bacillus cereus* biomass. *Journal of Environmental Sciences*, 23(1), 108-111. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(10\)60380-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(10)60380-4)

Lindhqvist, T. (2000). *Extended producer responsibility in cleaner production: Policy principle to promote environmental improvements of product systems*. IIEE, Lund University.

Lopez, C. F. V., Diaz, L. J. y Vargas, J. O. (2019). Análisis de la generación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEES). Estudio de caso en la ciudad de Neiva. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(1), 131-140. <https://doi.org/10.22490/21456453.2295>

Ilyas, S. y Lee, J. C. (2014). Biometallurgical recovery of metals from waste electrical and electronic equipment: a review. *ChemBioEng Reviews*, 1(4), 148-169. <https://doi.org/10.1002/cben.201400001>

Mahmoud, A., Cézac, P., Hoadley, A. F., Contamine, F. y D'Hugues, P. (2017). A review of sulfide minerals microbially assisted leaching in stirred tank reactors. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 119, 118-146. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.09.015>

Méndez-Fajardo, S. (2016). Systemic decisions for more sustainable WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) management in developing countries. Pontificia Universidad Javeriana.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018, 15 de febrero). Por el cual se adiciona el Decreto 1076 de 2015, Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con la Gestión Integral de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos - RAEE y se dictan otras disposiciones. [Decreto 284 de 2018]. DO: 50.508.

Ministry of Environment and Forests (2016). Notification. *The Gazette of India*, Extraordinary Part-ii, Section- 3, Sub-section i.

Morin, E.; Ciurana, E.; Motta, R. (2006). *Educación en la era planetaria*. Editorial Gedisa.

Muñoz, A. J., Espínola, F. y Ruiz, E. (2017). Biosorption of Ag (I) from aqueous solutions by *Klebsiella* sp. 3S1. *Journal of hazardous materials*, 329, 166-177. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.01.044>

Nowakowski, P. (2017). A proposal to improve e-waste collection efficiency in urban mining: Container loading and vehicle routing problems – A case study of Poland. *Waste management*, 60, 494–504. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.016>

OECD. (2009). *The bioeconomy to 2030: designing a policy agenda*. Organisation for Economic OECD Publishing. <https://dx.doi.org/10.1787/9789264056886-en>

Perez, E. A. (2017, 16 de enero). Colombia le hace frente a la basura electrónica. *P&M*. <http://www.revistapym.com.co/colombia-hace-frente-a-basura-electronica>

Ruíz-Durán, J. A., Moreno-Tejedor, L. D. y Moreno-Gutiérrez, A. N. (2017). *Caracterización de aparatos de residuos eléctricos y electrónicos en la ciudad de Villavicencio Meta para el año 2016* [Tesis de doctorado]. Corporación Universitaria Minuto de Dios. <http://hdl.handle.net/10656/7036>

Shen, S. H., Wan, T. J., Cheng, C. Y., Huang, C. F. y Shen, S. M. (2012) Resource recycling of waste electrical and electronic products in Taiwan. En Institute of Electrical and Electronics Engineers (Comp.), *2012 Electronics Goes Green 2012+* (pp. 477-482). IEEE.

Wang, F., Kuehr, R., Ahlquist, D. y Li, J. (2013). *E-waste in China: A country report*. United Nations University

Zeng, X. y Li, J. (2016, 10 de septiembre). Measuring the recyclability of e-waste: an innovative method and its implications. *Journal of Cleaner Production*, 131, 156-162. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.055>

## 1.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE TRES MODELOS DIFERENTES DE COMPOSTAJE, PARA EL MANEJO ADECUADO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DE LA SECCIÓN DE FRUTAS, VERDURAS Y LEGUMBRES DE LA PLAZA LA 21 EN LA CIUDAD DE IBAGUÉ.

---

Jeisson Wberly Cardona Cortes

Estudiante Ingeniería ambiental, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Ibagué Colombia  
yeyo.wberly@gmail.com

Juan Sebastián Botero Mondragón

Estudiante Ingeniería ambiental, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Ibagué Colombia  
jsebastianbmondragon@gmail.com

Carlos Guillermo Mesa Mejía

Ingeniero Sanitario y Ambiental, Especialista en Educación Superior a Distancia, Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Ibagué Colombia  
carlos.mesa@unad.edu.co

---

### RESUMEN

El manejo de los residuos sólidos orgánicos en la plaza la 21, de la ciudad de Ibagué, es inadecuado en términos de disposición final y tratamiento, lo que genera problemas ambientales adversos. En este artículo se plantean tres alternativas de tratamiento, con el fin de realizar un análisis comparativo de compostaje en tres reactores (tradicional, lombricultura y microorganismos eficientes), para así determinar cuál de los tres presenta las mejores condiciones, para brindar una solución a la problemática ambiental. El proceso metodológico se enmarcó por el sondeo y la elección de los puestos de vendedores de frutas, verduras y legumbres de la plaza de la 21 de la ciudad de Ibagué, los cuales aportaron la materia prima en la recolección diaria de residuos orgánicos generados por cada uno de los comerciantes en un periodo de diez días, con una recolección diaria, logrando caracterizar e identificar los tipos de residuos or-

gánicos generados e implementando el método de cuarteo para disminuir el volumen de material a compostar, recolectando una muestra de 12 kg/día. Posteriormente, se realizó la siembra en los tres reactores, con un registro de variables físico-químicas (lixiviados, la humedad, pH, volumen, peso y temperatura) cada ocho días, así mismo se realizaron tomas de muestras al finalizar el segundo y tercer mes de siembra con el fin de evaluar, por medio de análisis de laboratorio, los parámetros de pH, relación C/N, porcentaje de materia orgánica, nutrientes mayores (nitrógeno, fósforo, potasio) y carbono orgánico. Finalmente, el análisis de la información permitió concluir que el modelo de compostaje por microorganismo eficientes (EM) es viable para dar solución al problema planteado como proceso de disposición y tratamiento de dichos residuos sólidos orgánicos. Así mismo los resultados arrojados en la investigación, permiten recrear un panorama de aprovechamiento masivo de estos residuos sólidos orgánicos, los cuales pueden ser transformados en compost orgánico, para que sirvan como fuente nutricional de cultivos que requieran ciertos parámetros nutricionales como los obtenidos en el análisis de laboratorio de los modelos establecidos.

*Palabras clave: compostaje, residuo sólido, orgánicos, lombricultivo.*

## ABSTRACT

The management of organic solid waste in Plaza la 21, in Ibagué (Colombia), is inadequate in terms of final disposal and treatment, which generates adverse environmental problems. In this article, three treatment alternatives are proposed, to carry out a comparative analysis of composting in three reactors (Traditional, Vermiculture and Efficient Microorganisms), in order to determine which of the three presents the best conditions, to provide a solution to the environmental issues. The methodological process was framed by the survey of fruit, vegetable and legume vendor stalls, the methodological process was done by the survey and choice of the stalls of fruit, vegetable and legume sellers in the Plaza de la 21 in Ibagué, who provided the raw material in the daily collection of organic waste generated by each of the traders in a period of ten days, with a daily collection, managing to characterize and identify the types of organic waste generated and implementing the quartering method to reduce the volume of material to compost, collecting a sample of 12 Kg / day. Subsequently, the waste was carried out in the three reactors, with a record of physical-chemical variables (leachate, moisture, pH, volume, weight and temperature) every eight days, likewise samples were taken at the end of the second and third sowing month in order to evaluate by means of laboratory analysis, the parameters of pH, C/N Ratio, Percentage of Organic Matter, Major Nutrients (Nitrogen, Phosphorus, Potassium) and Organic Carbon Which

gaves like conclusion, that The Efficient Microorganism (EM) composting model is viable to solve the problem posed as a process for the disposal and treatment of said solid organic waste. Likewise, the results obtained in the research allow to recreate a panorama of massive use of these Solid Organic Waste, which can be transformed into organic compost, to serve as a nutritional source for crops that require certain nutritional parameters such as those obtained in the analysis of established models.

*Keywords: composting, solid waste, organic, vermiculture.*

---

## INTRODUCCIÓN

Vivir en el mundo contemporáneo implica producir basura. Los hábitos culturales de consumo están en constante transformación y, por lo tanto, resulta difícil percatarnos del ritmo o velocidad con la cual nos deshacemos de lo que, simplemente, ya no nos sirve, nos estorba, ya no utilizamos o se ha tornado obsoleto por efecto de las modas (Guzmán y Macías, 2012).

Sin embargo, el mundo cada día avanza hacia el uso de estos procesos de reconversión ecológica mediante la utilización de compost debido a su facilidad y a lo práctico que resulta implementarlo. Además del bajo coste que representa la producción de compost orgánico, debido a que el proceso de degradación es generado por microorganismos (hongos y bacterias) cuya acción depende de los medios adecuados para su reproducción, como por ejemplo temperatura, oxígeno y humedad que produzcan una aceleración de los procesos de descomposición de materia orgánica.

Por ende, se considera la utilidad del compost en los suelos, que sean sometidos a cambios con el abono orgánico producido a partir del compost, debido a su mejoramiento en la salud, en la fertilidad y en la calidad edafológica.

De momento, hablando en términos de población, encontramos que globalmente tenemos una población aproximada de 4,028 billones de habitantes, cuyo aumento porcentual es del 2,035 % anualmente. Teniendo en cuenta dicha afirmación, necesariamente hay que hablar de la industrialización acelerada y el crecimiento económico, que se traduce en el aumento de la generación de residuos sólidos en todo el mundo (Khadelwal *et al.*, 2019). Así mismo, se espera que para el 2025 la producción de residuos sea de 6,1 millones de toneladas métricas, dejando ver el considerable aumento en comparación con el 2002 donde la producción era de 3,5 millones de toneladas métricas.

La tasa de generación de RSU es directamente proporcional al aumento en el nivel de ingresos de los países, es decir, los países con un PIB más alto producen más desechos, con una mayor proporción de residuos de papel y embalaje, mientras que los países con un PIB más bajo producen más desechos biodegradables (Shekdar, 2009).

La problemática ambiental y las consecuencias de la mala gestión han impulsado a que las mega ciudades implementen proyectos basura cero y similares, con los cuales emprenden una búsqueda de la mitigación de los principales efectos que se producen con el mal manejo, como lo es el calentamiento global, el agotamiento del ozono, los peligros para la salud humana, los daños al ecosistema, el agotamiento de los recursos abióticos, etc.

Colombia no está exenta de la situación mencionada, basados en la guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura brindada por la Alcaldía Mayor de Bogotá (2014), para dicha ciudad los residuos orgánicos alcanzan un 55,22 % en cuanto a la generación de las 6300 toneladas diarias de residuos, de las cuales el 74 % pertenece al tipo residencial. El manejo que se le da allí y en general en el país, es recolección, transporte y disposición final en el relleno, generando con ello problemas ambientales asociados a la atmósfera como la producción de gases de efecto invernadero por las condiciones anaerobias que se viven dentro del relleno y además perdiendo la utilidad que se le puede ofrecer mediante un tratamiento como el compost.

La plaza la 21 de la ciudad de Ibagué fue el escenario elegido para llevar a cabo el trabajo investigativo, pues, es la segunda plaza de mercado más grande que tiene la ciudad con un total de 682 puestos, en donde se ofertan los productos agrícolas que produce el departamento del Tolima, especialmente en el municipio de Cajamarca. También, frutas cultivadas en el norte del departamento y los secanos cosechados principalmente en la meseta del Tolima y municipios surorientales del departamento.

Enfatizando más el sitio de interés, se seleccionó la plaza de la 21, la cual produce residuos sólidos, en su mayoría de naturaleza orgánica, según lo expuesto por Muñoz (2012, p. 40), “Los residuos orgánicos corresponde aproximadamente a 605,92 kg/día, y el peso de los residuos inorgánicos corresponde aproximadamente a 394,45 kg/día”.

A nivel departamental y específicamente la capital Tolimense, fue el escenario escogido para llevar a cabo el trabajo investigativo, referente a la problemática de residuos sólidos orgánicos. La mejor definición del problema la ofrece el relleno sanitario la miel, en donde recién el año pasado estaba en construcción un nuevo módulo de recepción, con el ánimo de continuar con la funcionalidad del lugar, pero que deja entrever que los residuos están aumentando cada vez más, lo cual hace necesario tomar medidas y acciones en pro del freno de la disposición final hacia dicho sitio.

En la ciudad, la plaza de la 21 es uno de los sitios que más produce residuos sólidos, en su mayoría de naturaleza orgánica, sin separación alguna y cuyo único control es el de recogerlos a tiempo, para que su degradación no ocurra dentro de las instalaciones y genere inconvenientes mayores. Por eso, teniendo en cuenta este panorama, una de las finalidades del proyecto desarrollado es ofrecer un recurso que sirva como apoyo para el fortalecimiento de la reutilización y el adecuado manejo de los residuos sólidos orgánicos, en el cual los resultados obtenidos, den inicio a nuevas conclusiones o a nuevos proyectos que permitan evaluar los estados actuales de la problemática e implementar estrategias con menos tiempo de ejecución, para así actuar eficientemente, sobre la producción, la naturaleza y los resultados de cada modelo de compost de acuerdo a los intereses de quien lo desee.

Basados en este contexto global, regional y local, conforme a la generación de residuos sólidos orgánicos, este artículo investigativo aborda tres de las posibilidades existentes para darle un tratamiento de compostaje adecuado, de bajo costo y de manera eficiente para la implementación, ya sea bajo los modelos de microorganismos eficientes (EM), lombricultivo o compostaje tradicional.

Teniendo esto en cuenta, se logró realizar un paralelo con tres modelos de compostaje bajo las mismas condiciones, lo cual permitió identificar en los parámetros de lixiviados, pH final del compostaje, porcentaje de materia orgánica, relación C/N, porcentaje de nitrógeno, porcentaje de potasio, porcentaje de fósforo y porcentaje de residuos sólidos orgánicos no compostados, en un periodo de 90 días, la elección de la viabilidad de uno de los modelos de compostaje; permitiendo determinar la viabilidad y practicidad, para así dar cumplimiento a una gestión integral de los residuos sólidos orgánicos, haciendo un reintegro de elementos residuales y ciclando sus componentes nuevamente dentro de los ecosistemas.

---

## MATERIALES Y MÉTODOS

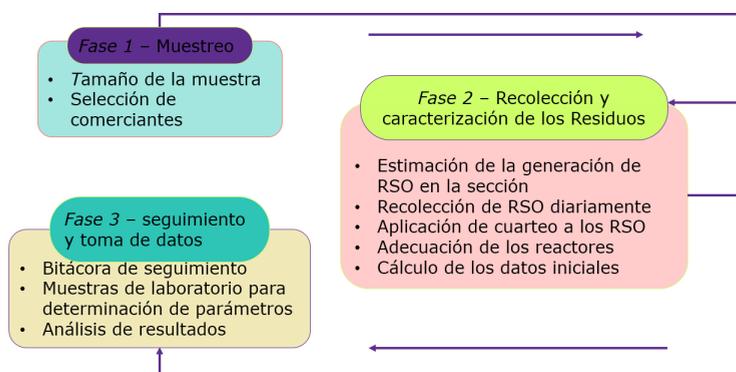
En este proyecto de investigación, se identificó un modelo de compostaje de bajo costo, de fácil aplicación y de poco tiempo de ejecución, que permite optimizar los recursos y generar rapidez en la producción de abono orgánico compostado, para así brindar una solución práctica y una alternativa ambientalmente amigable, que sirve para mitigar la inadecuada disposición final de residuos sólidos orgánicos, en la plaza la 21 de la ciudad de Ibagué.

Metodológicamente se empleó un proceso aeróbico, el cual se caracteriza por presentar etapas en aumento y disminución de temperatura, donde se involucran organismos mesófilos y termófilos según la etapa de las activaciones metabólicas y los procesos de degradación de la materia orgánica (Sztern y Pravia, 1999).

Este proyecto de investigación, se desarrolló bajo un diseño experimental de tipo descriptivo con un enfoque cuantitativo, el cual busco explicar los fenómenos que ocurren en los modelos de compostaje implementados, especificando cada uno de los componentes y factores analizados, a partir de las mediciones de diferentes características físico químicas, las cuales comprenden lixiviados (ml), humedad (%), pH, volumen (Cm<sup>3</sup>), peso (Kg) y temperatura (°C), relación C/N, porcentaje de materia orgánica, nutrientes mayores (N, P, K) y carbono orgánico. Esto, dentro del proceso de compostaje en cada uno de los modelos, para así, durante un periodo de tiempo, determinar cómo es su relación en función del tiempo y los costos empleados.

Como actividad determinante en la investigación, se estableció una serie de fases implementadas a lo largo de la ejecución del proyecto, la cual fue la base fundamental del éxito de los resultados en cada uno de los modelos de compostaje implementados. En el siguiente esquema se determinan las fases correspondientes.

**FIGURA 1.** Fases de implementación de la investigación



Nota: cada una de las fases del desarrollo de la investigación se subdivide en ítems de importancia a registrar en cada actividad ejecutada.

Fuente: elaboración propia.

## FASES DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

### Fase 1. Muestreo

El plan de muestreo para la determinación de la cantidad de residuos generados en la sección de frutas, verduras y legumbres de la plaza de la 21 de la ciudad de Ibagué, se realizó bajo un muestro probabilístico aleatorio simple, permitiendo realizar una estimación en cuanto a la generación de residuos sólidos orgánicos, determinado durante un periodo de 10 días. Esto permitió identificar los días en los cuales se generan más residuos sólidos orgánicos, soportado mediante el registro del peso en kilogramos de los residuos sólidos de cada uno de los comerciantes dentro de la plaza la 21. Para este muestreo se aplicó la caracterización de residuos sólidos orgánicos al 25 % de puestos del total de la sección evaluada.

### Fase 2. Recolección y caracterización de los RSO

La recolección de residuos sólidos orgánicos se realizó en la fuente, es decir, en común acuerdo con los vendedores de la sección de frutas, verduras y legumbres, para así poder realizar una estimación y calcular el peso en Kg/ día de residuos generados por vendedor. Para ello se empleó un registro de la cantidad de RSO durante diez días.

Al finalizar el día se empleó la siguiente ecuación con el fin de estimar la producción total de la sección, para así caracterizar en la recolección de residuos sólidos orgánicos a compostar.

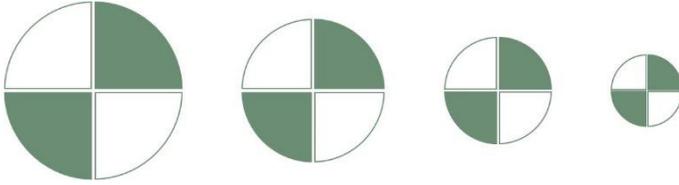
#### ECUACIÓN 1.

$$PPC = \frac{\text{Kg recolectados de RSO}}{\# \text{ muestras}} * \text{total de puestos de la sección}$$

Posterior a la determinación de la producción de RSO por número de muestra, se procedió a determinar la cantidad de Kg de RSO a transportar para el área de establecimiento de modelos de compostaje. Para ello se aplicó el método de “Cuarteo” el cual consistió en depositar los residuos, en donde se abre cada una de las bolsas donde vienen los residuos sólidos, para luego:

“[hacer]una circunferencia lo más uniforme posible con todos los residuos, de esta se extraen dos cuartos, se hace otra circunferencia uniforme similar a la anterior, de la cual se sacan otros dos cuartos, y así sucesivamente hasta poder tener una muestra representativa y manejable” (Montoya, 2012, p. 68).

**FIGURA 2.** Ilustración del método de cuarteo



Fuente: adaptado de Montoya, 2012.

Para continuar con el proceso de recolección de datos, información, elementos y materia prima para iniciar, se planteó el siguiente procedimiento:

- Al realizar el método de cuarteo, tomar una muestra de los RSO de 12 Kg/día, para así, al final de los 12 días, contar con 120 Kg de residuos totales.
- Identificar los diferentes tipos de residuos sólidos orgánicos, así como el porcentaje de material en peso y la clasificación por naturaleza dada para cada uno de ellos.
- Reducir el volumen del RSO manualmente con el fin de acelerar el proceso de descomposición y tener una mezcla homogénea. “La actividad microbiana está relacionada con el tamaño de la partícula, esto es, con la facilidad de acceso al sustrato. Si las partículas son pequeñas, hay una mayor superficie específica, lo cual facilita el acceso al sustrato” (FAO, 2013, p. 30).
- Exponer los RSO al sol, con el fin de eliminar el exceso de humedad presente y evitar la generación excesiva de lixiviados.
- Establecer los modelos (convencional, micro organismos eficientes (EM) y lombricultivo) para compostar los residuos sólidos recolectados de tal forma que se realicen mediciones requeridas, identificadas en la fase 3.

En el proceso de compostaje, se emplearon reactores o “canecas de plástico” de 200 litros, aforadas, con agujeros que permitieron su aireación y un sistema de recolección de lixiviados. “Básicamente los reactores, son estructuras por lo general metálicas: cilíndricas o rectangulares, donde se mantienen controlados determinados parámetros (humedad, aireación), procurando que los mismos permanezcan en forma relativamente constante” (Paredes y Robles, 2015, p. 7).

### Fase 3. Seguimiento y toma de datos

El establecimiento y la toma de datos de los tres modelos de compostaje establecidos (microorganismos eficientes, lombricultivo y tradicional) se realizó en un periodo de tres meses, contados a partir de la siembra del compostaje, en ese momento, se registraron los parámetros iniciales, los cuales fueron: volumen inicial (cm<sup>3</sup>), porcentaje de humedad, peso en Kg, altura de los RSO.

Posterior a estos datos iniciales, se llevó a cabo una bitácora con el fin de analizar y registrar una vez por semana, durante los tres meses establecidos, los aspectos físicos de los modelos de compostaje para los cuales se determinaron los siguientes parámetros: peso en Kg, pH, volumen en cm<sup>3</sup>, textura, olor, color, lixiviados en ml y temperatura en °C. Esta información sirvió de guía para realizar una comparación semanal, según el comportamiento de las condiciones cambiantes de cada uno de los compostajes.

Con el fin de evaluar una serie de parámetros fundamentales en cada uno de los modelos de compostajes, en los 3 meses previstos para la maduración del compost, se tomó una muestra al finalizar cada mes con el fin de evaluar y comparar los aspectos distintivos y las diferencias existentes dependiendo de las muestras de compostaje de cada modelo. Se analizaron las siguientes variables y su respectivo resultado de los análisis de laboratorio, en los que se determinó lo siguiente: pH, relación C/N, % de materia orgánica, nutrientes mayores (N, P, K), carbono orgánico. Las muestras relacionadas se enviaron al laboratorio LASEREX ubicado en la Universidad del Tolima, en donde se utilizaron los siguientes equipos.

**TABLA 1.** Clasificación de los residuos totales, pasados los diez días de recolección

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO
pH	--	Potenciométrico
Materia orgánica	%	Walkley - Black
Carbono orgánico	%	Walkley - Black
Nitrógeno	%	Kjeldalh
Relación C/N	--	Teórico
Potasio	%	Espectrofotométrico/AA
Fosforo	%	Espectrofotométrico/Uv-Vis

Fuente: elaboración propia.

Basados en esta metodología, se analizaron y compararon los resultados obtenidos en cada uno de los modelos, priorizando el tiempo/beneficio, la degradación de los residuos sólidos orgánicos de cada uno, generación de lixiviados y el resultado del análisis de laboratorio, para así determinar cuál de los tres modelos se puede implementar de manera práctica como solución al problema de contaminación por residuos sólidos orgánicos.

---

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

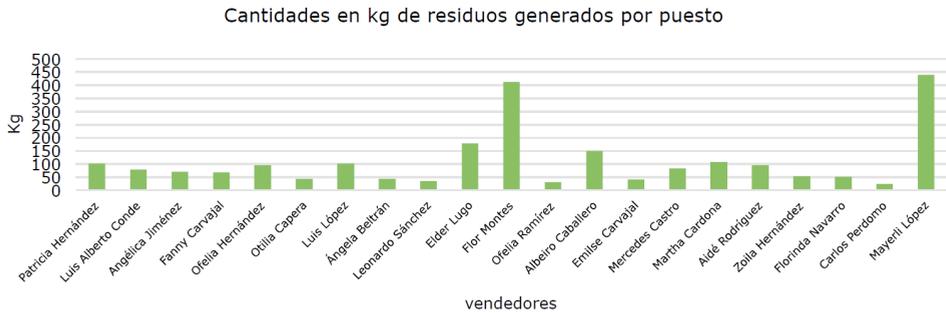
### FASE 1

A partir de los 69 puestos en funcionamiento, la muestra a aplicar obedece al 30 %, buscando que sea representativa, al igual que la implementación del método de cuarteo durante la recolección de los 10 días establecidos. Dado que el 30 % de 69, es 20,7, se hizo la selección de 21 puestos.

Como dato adicional, tenemos el hecho de que algunos puestos de los comerciantes de frutas, verduras y legumbres, son trabajados únicamente en días donde la demanda de público es elevada, es decir, que las personas solo hacen uso de su punto de trabajo cuando saben que tendrán buenos ingresos y en los demás días permanecen inactivos, por lo que su generación de RSO se ve relacionada con dicha mención.

### FASE 2

Como segunda instancia dentro de las actividades propuestas en la ejecución del proyecto y seguido del muestreo realizado en la sección de frutas, verduras y legumbres, se presentan los datos de las personas que participaron en la recolección de los RSO durante los diez días, así como las cantidades expresas en Kg por puesto para poder obtener un control y un cálculo final en la generación de residuos sólidos orgánicos en la plaza la 21 de la ciudad de Ibagué.

**FIGURA 3.** Kg totales de residuos generados por puestos

Nota: en la gráfica se observa, las cantidades en Kg aportados por cada puesto en la plaza la 21 de la ciudad de Ibagué, en un periodo de diez días.

Fuente: elaboración propia.

**TABLA 2.** Clasificación de los residuos totales, pasados los diez días de recolección

Tipo de residuo orgánico	Kg / Día										Total	%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
<b>R. Frutas</b>	4	4,6	3,5	3,2	6	5,8	2,7	3,9	4,4	3,5	41,6	34,67 %
<b>R. Tubérculos</b>	0,5	1	2,4	2	0,9	0,6	0,9	1,2	2	0,8	12,3	10,25 %
<b>R. Legumbres</b>	1,9	2,4	1,1	1,7	0,5	1,8	1,8	2	1,7	1,5	16,4	13,67 %
<b>R. Cereales</b>	1,6	1,3	1,4	0,5	1	0,8	0,9	1,6	1,4	2	12,5	10,42 %
<b>R. Hortalizas de hoja</b>	0,8	1,6	1,7	3,8	2,5	2,1	3,7	1,1	1,2	1,8	20,3	16,92 %
<b>R. Hortalizas de fruto</b>	3,2	1,1	1,9	0,8	1,1	0,9	2	2,2	1,3	2,4	16,9	14,08 %
<b>Total</b>	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	120	100,00 %

Fuente: elaboración propia.

## Datos iniciales

Con el fin de determinar los datos iniciales para los procesos de siembra en los modelos de compostaje, se tuvo en cuenta una serie de datos importantes para poder calcular los respectivos parámetros, los cuales se identifican en la siguiente información.

Residuos sólidos orgánicos húmedos: 120 Kg

Residuos sólidos orgánicos solarizados: 68,6 Kg

**ECUACIÓN 2.**

$$\text{Reducción del RSO} = 120 \text{ kg} - 68,6 \text{ kg} = 51,4 \text{ k}$$

**ECUACIÓN 3.**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Residuos sólidos orgánico reducido}}{\text{Residuos sólidos orgánicos Iniciales}} * 100$$

**ECUACIÓN 4.**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{51,4 \text{ Kg}}{120 \text{ Kg}} * 100 = 42,8 \% \text{ de humedad}$$

En la siguiente tabla, se relaciona los parámetros de medición inicial y los datos aportados como base fundamental para realizar el proyecto de investigación, aplicado en paralelo a los tres modelos de compostaje aeróbicos establecidos.

**TABLA 3.** Valores iniciales para cada reactor

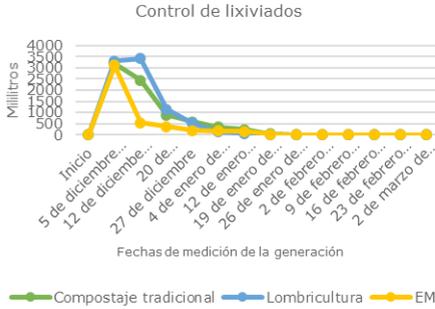
Datos iniciales							
Reactores	Peso por caneca (Kg)	Radio por caneca en (cm)	(Kg) de RSO en seco	Agua suministrada (L)	Altura del RSO (cm)	Componentes adicionales	Peso Kg Inicial de cada reactor
Reactor 1 – Compostaje tradicional	8,2	29	22,8	4 L	28	N/A	35
Reactor 2 – Compostaje lombricultivo	10	29	22,8	4 L	29	8 kg totales entre lombriz roja californiana y tierra húmeda.	44,8
Reactor 3 – Compostaje EM	9,9	29	22,8	4 L	28	N/A	36,7

Fuente: elaboración propia.

**FASE 3**

El seguimiento continuo de los tres modelos de compostaje establecidos permitió identificar las variaciones de los procesos y los eventos relevantes durante el proceso paralelo en el desarrollo del compost durante los tres meses previstos, en las siguientes gráficas, se ilustra el comportamiento de los tres modelos.

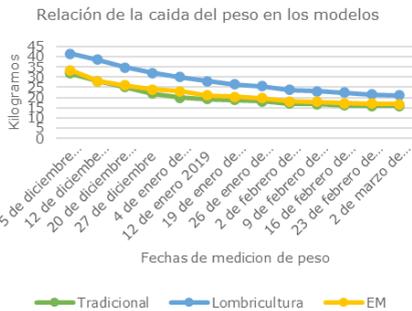
**FIGURA 4. Control de lixiviados durante tres meses**



Nota: se identifica la reducción en la generación de lixiviados durante los tres meses establecidos

Fuente: elaboración propia.

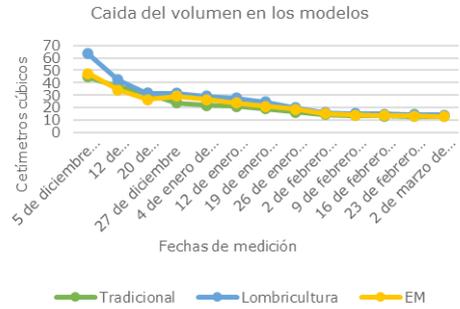
**FIGURA 6. Reducción de peso en Kg en los tres modelos**



Nota: se observa la relación del peso de le modelo de lombricultura es mayor, esto a partir de la adición de lombriz roja californiana en sustrato de tierra.

Fuente: elaboración propia.

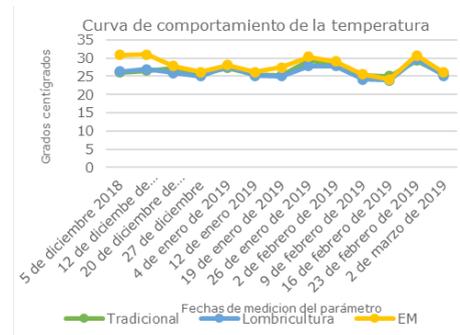
**FIGURA 5. Caída de volúmenes en los tres modelos**



Nota: reducción del volumen determinado por su condición inicia, frente al final.

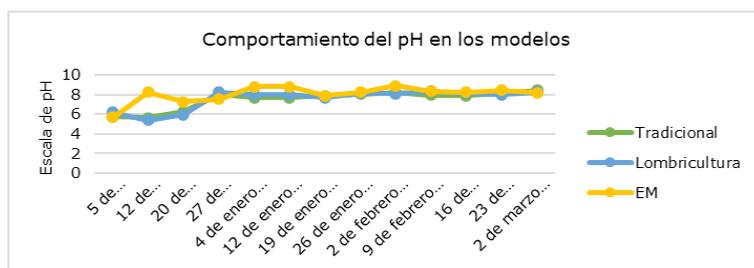
Fuente: elaboración propia.

**FIGURA 7. Comportamiento de la temperatura (°C) en cada uno de los modelos durante todo el proceso**



Nota: los picos de temperatura varían en función de las etapas termófilas y mesófilas de la compostación.

Fuente: elaboración propia.

**FIGURA 8.** Comportamiento del pH en cada uno de los modelos durante todo el proceso

Nota: Se registra en la escala de pH cada uno de los valores obtenidos durante las mediciones semanales

Fuente: elaboración propia.

## RESULTADOS DE LABORATORIO

Las actividades de recolección de muestras para laboratorio comprendieron la extracción de 500 g de muestra para ser enviadas. Para el primer mes no se pudo obtener una muestra idónea para ser analizada en laboratorio, ya que los tres modelos de compostaje (tradicional, em y lombricultivo) aún se encontraban “crudos”, presentando características físicas y organolépticas poco favorables para su respectivo análisis. Al finalizar el segundo y tercer mes, se realizó una comparación de valores en los parámetros evaluados por medio de análisis de laboratorio.

**TABLA 4.** Valores de análisis de laboratorio

Parámetro	Análisis	Unidad	Método	Tradicional	Lombricultivo	EM
pH	1 análisis	---	Potenciométrico	9	8,9	9,7
	2 análisis			9	9,2	8,9
% M. O	1 análisis	%	Walkley - Black	11,80	12,50	13,30
	2 análisis			13,67	13,47	13,27
% C. O	1 análisis	%	Walkley - Black	6,8	7,3	7,7
	2 análisis			8,0	7,81	7,7
% Nitrógeno	1 análisis	%	Kjeldahl	0,8	1,0	1,0
	2 análisis			1,12	1,19	1,13
Relación C/N	1 análisis	---	Teórico	8,6	7,3	7,8
	2 análisis			7,2	6,6	6,82
% Potasio	1 análisis	%	Espectrofotométrico/AA	0,83	0,86	0,74
	2 análisis			1,51	1,75	1,78
% Fósforo	1 análisis	%	Espectrofotométrico/AA	0,2	0,2	0,2
	2 análisis			0,22	0,30	0,22

Fuente: elaboración propia.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Basados en los resultados obtenidos de la bitácora de seguimiento, los respectivos análisis de laboratorio, el tiempo de compostaje y la cantidad de residuos sólidos orgánicos degradado por cada uno de los tres modelos establecidos, se someten a comparación los parámetros de evaluación final, para así esclarecer cuál de los tres modelos paralelos de compostaje da una solución práctica al problema de la inadecuada disposición final y tratamiento de los residuos sólidos orgánicos de la plaza la 21 de la ciudad de Ibagué. En la siguiente tabla, se identificaron los valores obtenidos en los parámetros de evaluación dentro del seguimiento y toma de datos de los modelos de compostaje realizados.

**TABLA 5.** *Parámetros de evaluación final*

Parámetros de evaluación final	Modelos de compostaje			Viabilidad del modelo
	Tradicional	Lombricultivo	EM	
<b>Lixiviados total (ml)</b>	7 722	8 578	4 525	EM
<b>pH final compostado</b>	9	9,2	8,9	EM
<b>% De materia orgánica</b>	13,67	13,47	13,27	Tradicional
<b>Relación C/N</b>	7,2	6,6	6,82	Tradicional
<b>% de nitrógeno</b>	1,12	1,19	1,13	Lombricultivo
<b>% de potasio</b>	1,51	1,75	1,78	EM
<b>% de fósforo</b>	0,22	0,30	0,22	Lombricultivo
<b>% De RSO no Compostado</b>	11,6	8,6	7,2	EM

Fuente: elaboración propia.

Frente a los resultados obtenidos como consecuencia de los criterios de selección por parámetros, se determinó que el modelo que presenta viabilidad, un menor tiempo de degradación de residuos sólidos orgánicos y, dentro del concepto económico, un manejo más adecuado para dar solución a la problemática planteada, fue el modelo de los microorganismos eficientes (EM) siendo de fácil consecución y multiplicación, lo cual es una gran ventaja a la hora de aplicar este modelo a gran escala, por ende este método fue seleccionado como el mejor modelo dentro de la investigación y comparación entre sistemas de compostaje tradicional y lombricultivo.

Con los datos obtenidos, se relaciona la siguiente información con el fin de focalizar la elección del modelo de los microorganismos eficientes, como la más viable, en comparación con los demás modelos establecidos, basados en los valores obtenidos en cada uno de los parámetros evaluados. Para el parámetro de los lixiviados, el modelo de los EM presentó el

menor índice en generación de líquidos provenientes del proceso de descomposición de residuos, el cual es un punto de interés en la generación de vertimientos de contaminación en las fuentes hídricas y la acumulación de compuestos que generan gases nocivos, por lo cual los EM, presentan una viabilidad en la generación y manejo de lixiviados. Esto teniendo en cuenta que, según Bernache-Pérez (2012):

..... “Otro vector importante de contaminación en los sitios de disposición final es el lixiviado no controlado. El controlarlo implica mantener el flujo de lixiviados dentro del sitio de disposición final y darle un tratamiento apropiado para neutralizar sus residuos peligrosos, principalmente tóxicos (metales pesados). Cuando estos lixiviados escapan del sitio pueden ocasionar contaminación de fuentes de agua y suelos” (p.102).

Por otra parte, el pH registrado en el modelo de los EM se encuentra un poco por encima del rango óptimo establecido por el manual de compostaje del agricultor publicado por la FAO, el cual corresponde a 6.5 a 8.5 en la escala de pH. Sin embargo, es el pH más bajo de los tres modelos establecidos buscando el rango de neutralidad. Por su parte, el porcentaje de materia orgánica se encuentra dentro de un rango por igual en los tres modelos analizados, sin embargo, el modelo tradicional, cuanta con unos valores de concentración de materia orgánica más alta lo cual es favorable.

En la relación C/N, ningún modelo pudo establecerse con una relación adecuada, esto debido a los excesos de nitrógeno provenientes de las fuentes de origen de los RSO utilizados y los respectivos porcentajes de los mismos para el compostaje, sin embargo, el modelo tradicional, presentó la relación C/N más alta.

Respeto al porcentaje de nitrógeno, el modelo de lombricultivo presentó la concentración más alta en comparación con los tres modelos, pero estos resultados obtenidos fueron altos en sus tres muestras y por ende no ocurrió una correcta relación C/N. En cuanto al porcentaje de potasio, el modelo de los EM fue el que presentó un mayor índice de concentración en su material compostado, por el contrario, para el porcentaje del fósforo, fue el modelo del lombricultivo el que logró obtener una mayor concentración en un porcentaje de este elemento mayor.

Por último, referente al porcentaje de RSO compostado, se encontró que el modelo de los EM logró descomponer en menor tiempo más residuos sólidos orgánicos que los demás modelos, presentando el menor porcentaje en RSO no compostados durante un periodo de 90 días, lo cual en términos de tratamiento y disposición final es una ventaja a la hora de poder transformar en abono orgánico cada vez más rápido los residuos sólidos orgánicos.

Para el modelo de compostaje tradicional, se presentaron una serie de eventos temporales como la mayor generación de olor fuerte en los lixiviados obtenidos en las primeras semanas de siembra, además presentó una etapa termófila mucho después en comparación con el modelo de los EM, lo que tuvo una incidencia en el aumento de temperatura y sirvió como consideración a la hora de la determinación final del modelo más viable.

En el modelo de lombricultivo se presentó la mayor generación de lixiviados en todo el proceso de compostación, teniendo un olor fuerte tras las primeras tres semanas de compostaje, esto debido a la utilización de material de origen con alto contenido de humedad como lo son las frutas, sin embargo este tipo de lixiviados provenientes de los procesos de degradación por lombrices, pueden servir para la transformación y utilización de abonos líquidos o comúnmente llamado “humus líquido” el cual después de un proceso de transformación logra ser reutilizado a las cadenas productivas.

El modelo de los microorganismos eficientes (EM) fue el que presentó mejores condiciones durante todo el proceso como la menor generación de lixiviados, menor olor en la compostación de RSO, menor tiempo de degradación de los residuos, además, en la percepción costo beneficio, el proceso de implementación de EM, no requiere una gran inversión, ya que dichos microorganismos los encontramos de manera natural en el ambiente y su forma de captura y propagación no requiere grandes inversiones de capital económico, lo que sirve como justificación para su implementación.

Tomando en cuenta el análisis anterior y recalcando que esta investigación se realizó con el fin de detallar paralelamente tres modelos de compostaje para determinar la viabilidad de cada uno de ellos, es posible establecer que permitió crear una nueva propuesta metodológica para poder obtener los resultados, ya que mediante la búsqueda extensiva de literatura que permitiera seguir un patrón para el abordaje de la investigación, se observó la carencia de la misma.

Por ende la información recolectada permite visualizar en conjunto las variaciones de cada uno de los tipos de compostaje que se realizan comúnmente y cómo cada modelo puede llegar a ser práctico de acuerdo a las necesidades de compost que se puedan llegar a tener, las características de los residuos generados o según se designen en niveles de importancia cada uno de los parámetros, lo que implica que si el interés se desvía hacia otro punto, se tendría que hacer un análisis diferente al propuesto.

En este caso, se opta por el modelo de EM básicamente por la baja generación de jugos lixiviados observados a lo largo de los 3 meses, porque en términos medioambientales estos fluidos son de gran relevancia. Por otra parte, la degradación de materia orgánica se realizó mucho más rápido en comparación con los demás modelos establecidos,

además reportó, en los registros finales, el porcentaje más bajo en residuo orgánico no compostado, siendo un punto clave en la elección de los microorganismos eficientes como modelo de viabilidad para compostar.

---

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los estudios del trabajo investigativo, se logró identificar el desconocimiento de los procesos de manejo y disposición final de residuos por parte de la comunidad ibaguereña y de los comerciantes, los cuales no se logran articular en los respectivos procesos de aprovechamiento, educación de reciclaje y recuperación de materiales orgánicos.

Referente a la investigación realizada, se debe tener en cuenta, al momento de ejecutar procesos de compostaje, qué tipo de materiales orgánicos serán empleados para la ejecución de un proceso de compostaje, ya que como resultado de los análisis de laboratorio, algunos parámetros como la relación C/N pueden variar en función de la cantidad y calidad de residuos sólidos orgánicos por la naturaleza y su tipo, para así tener claridad durante todo el proceso y poder realizar los ajustes pertinentes.

Para el modelo de compostaje tradicional, se presentaron una serie de eventos temporales los cuales sirvieron para la determinación final del modelo más viable, estos eventos comprendieron la mayor generación de olor fuerte en los lixiviados obtenidos en las primeras semanas de siembra, además presentó una etapa termófila a los 50 días después de la siembra del compostaje, alcanzando una temperatura de 29,3 °C mucho después en comparación con el modelo de los EM, lo cual insidió en el aumento de temperatura.

Referente al modelo de lombricultivo, este presentó la mayor generación de lixiviados con un total de 8.578 ml en todo el proceso de compostación, presentando un olor fuerte tras las primeras tres semanas de compostaje, esto debido a la utilización de material de origen con alto contenido de humedad como lo son las frutas, sin embargo este tipo de lixiviados provenientes de los procesos de degradación por lombrices, puede ser utilizados como abono líquido o comúnmente llamado “humus líquido” el cual después de un proceso de transformación logra ser reutilizado a las cadenas productivas.

Para el modelo de los microorganismos eficientes (EM), las características finales del proceso, en comparación con los demás modelos, se acercaron a un rango óptimo, sin embargo los EM presentaron unas mejores condiciones durante todo el proceso como lo fue, la menor generación de lixiviados, con un total de 4 525 ml, menor olor en la com-

postación de RSO, menor tiempo de degradación de los residuos logrando el porcentaje más bajo de residuos sólidos no compostados en un periodo de 90 días con un 7,2 %, además en la percepción costo beneficio, el proceso de implementación de EM, ya que dichos microorganismos los encontramos de manera natural en el ambiente y su forma de captura y propagación no requiere grandes inversiones de capital económico, lo cual justifica su implementación, ya que se genera menos impactos al medio ambiente.

En términos de análisis, resulta siendo un obstáculo el poco interés de las personas que interactúan en el entorno de la plaza de mercado si se observa desde un punto concreto de la gestión ambiental, la conservación de los recursos naturales y el desarrollo sostenible. Ahora bien, se abre el espacio para ahondar en la problemática y proponer soluciones, para así determinar el tiempo que podrían tardar todos los organismos implicados en consensuar sobre este tipo de estudios y medidas ofrecidas como posibles soluciones a la problemática de gestión de residuos, con visión a hacer de la ciudad, un territorio con una mejor sostenibilidad y con acciones integradas a la mejora continua del medio ambiente. Queda abierta la interrogativa de cómo aplicar cada detalle obtenido durante el proceso en la ciudad y en la disposición adecuada de los residuos que tanto urge en la capital tolimense.

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2014). *Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura*. Secretaría Distrital de Hábitat, Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos – UAESP. [http://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP\\_SR.pdf](http://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf)

Bermúdez, E. (04 de septiembre de 2018). Generalidades de la plaza la 21. (J. Cardona, y J. Botero, Entrevistadores) Ibagué, Tolima, Colombia.

Bernache-Pérez, G. (2012). Riesgo de contaminación por disposición final de residuos: Un estudio de la región centro occidente de México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28, 99-107.

FAO. (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

Guzmán, M. y Macías, C. (2012). El manejo de los residuos sólidos municipales: un enfoque antropológico. El caso de San Luis Potosí, México. *Estudios sociales*, 20(39), 235-262.

Khadelwal, H., Dhar, H., Kumar, A. y Kumar, S. (2019). Application of life cycle assessment in municipal solid waste management: A worldwide critical review. *Journal of Cleaner Production*, (209), 630-654. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.233>

Montoya, A. (2012). Caracterización de Residuos Sólidos. *Cuaderno Activa*, 4(2), 67-72. <http://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/download/34/31/>

Muñoz, R. (2012). *Política de gestión integral de residuos orgánicos de la plaza de mercado La 21 en el municipio de Ibagué*. [Tesis de especialización]. Universidad Libre. <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10613/TRABAJO%20DE%20GRADO%20PDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Paredes, J. y Robles, M. (2015). *Evaluación de parámetros de temperatura, pH y humedad para el proceso de compostaje en la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos de la municipalidad provincial de Leoncio Prado*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://tinyurl.com/yamox2qw>

Shekdar, AV. (2009). Sustainable solid waste management: an integrated approach for Asian countries. *Waste Management*, 29(4), 1438-1448. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.08.025>

Sztern, D. y Pravia, M. (1999). *Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos*. [www.bvsops.org.uy/pdf/compost.pdf](http://www.bvsops.org.uy/pdf/compost.pdf)



## CAPÍTULO

---

# DESARROLLO AGROPECUARIO SOSTENIBLE

Este capítulo recopila importantes investigaciones del sector agropecuario en el departamento del Huila, especialmente en las áreas de sistemas alternativos de producción acuícola (cultivo de tilapia roja - *Oreochromis sp.*); sistemas sostenibles de producción agrícola en agroecosistemas de café (*coffea arabica* L. variedad Caturra), papa criolla variedad “yema de huevo” (*Solanum phureja Juz et buk. Et.*); y achira (*canna edulis Ker*). Igualmente, se incluye un estudio de composición florística en un bosque urbano, así como el estudio de especies forestales de gran importancia para el país como la *Guadua Angustifolia* Kunth. Por último, se analiza desde la academia, el Plan de Acción Institucional de la Corporación Autónoma del Alto Magdalena (CAM), desde el contexto social y territorial. Los resultados obtenidos permitirán ampliar el conocimiento de potencialidades de cada sistema analizado y se constituyen en una línea base para generar estrategias que mejoren la productividad y competitividad del sector.

---



Walter Ariza Camacho  
Leonardo Antonio Aguilera Castro  
Andrés Mauricio Munar Samboní  
Oscar Eduardo Valbuena Calderón  
Milton Alexander Pérez Pérez  
Iván Rene Ortiz Molina  
Nelly María Méndez Pedroza  
Paola Andrea Paladinez  
Leydy Carolina Chilito  
William Ignacio Montealegre Torres  
Mauro Albeiro Bravo Gaviria  
Guillermo Edmundo Caicedo Diaz  
Juan Pablo Herrera Cerquera  
Mary Daniela Chilma Fernández  
Alejandra María Pena Beltrán

## 2.1 INCIDENCIA DE UN SISTEMA DE RE-CIRCULACIÓN ACUÍCOLA (RAS) EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y PARÁMETROS ZOOTÉCNICOS DE UN CULTIVO DE TILAPIA ROJA (*OREOCHROMIS SP.*) EN PITALITO (HUILA). ESTUDIO DE CASO

---

Leonardo Antonio Aguilera Castro

Médico Veterinario Zootecnista, Esp. en Nutrición Animal Sostenible, Profesional asociado, Universidad Nacional Abierta a Distancia (UNAD), Pitalito, Huila, Colombia.

leonardo.aguilera.mvz@gmail.com

Walter Ariza Camacho

Ingeniero Ambiental, Magíster en Ingeniería Química, Profesional asociado, Universidad Nacional Abierta a Distancia (UNAD), Pitalito, Huila, Colombia.

Ing.walca@gmail.com

Andrés Mauricio Munar Samboní

Ingeniero Ambiental, Universidad del Cauca.

Magíster en Ecología y Gestión de Ecosistemas Estratégicos, PhD en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental, Docente investigador, Universidad Nacional Abierta a Distancia (UNAD), Colombia.

andres.munar@unad.edu.co

---

### RESUMEN

La utilización de sistemas de recirculación acuícola (RAS) en Colombia ha adquirido gran auge entre los piscicultores, especialmente en aquellos dedicados al cultivo de especies en aguas cálidas. Sin embargo, persisten dudas sobre la eficiencia y viabilidad de estos sistemas acuícolas teniendo en cuenta variables productivas y económicas. Este estudio permitió evaluar en una escala temporal de 30 semanas los parámetros zootécnicos de un cultivo de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) que funciona mediante un sistema de recirculación acuícola a pequeña escala bajo invernadero, localizado a

1 285 m.s.n.m. en la estación piscícola Yamboró del municipio de Pitalito (Huila). El sistema cuenta con un estanque de geomembrana de 14 metros diámetro con una capacidad de 184,3 m<sup>3</sup> y un total de 8 500 peces sembrados, un sistema de aireación compuesto por dos blower de 1,5 hp, un sistema de remoción de sólidos con fraccionador de espuma, sedimentador y un biofiltro para la remoción de amonio. La metodología empleada hizo posible muestrear semanalmente el 2 % del total de peces (170 peces) en las fases de precría, levante y ceba. Entre los resultados obtenidos al final del ciclo productivo del cultivo se destaca el consumo de alimento (C) con 3 gramos (g) por pez/día y 21,06 g por pez/semana. Por otra parte, la ganancia de peso promedio (GP) por pez se mantuvo en 13,14 g/semana y 1,87 g/día; mientras que la conversión alimenticia (CA) registro 8 periodos de inflexión (semana 4, 5, 6, 17, 18, 19, 24 y 26) en los que sobrepasa el umbral de 2. Finalmente se obtuvo una mortalidad del 16,5 % y un porcentaje de sobrevivencia general (S) del 83,5 %. Los resultados obtenidos en este estudio permiten plantear la base para establecer una correlación con los parámetros productivos de sistemas mixtos de recirculación acuícola en futuras investigaciones.

**Palabras clave:** *acuicultura, precría, levante, ceba, ganancia de peso, sobrevivencia, talla.*

## ABSTRACT

The use of Aquaculture Recirculation Systems (RAS) in Colombia has become very popular among fish farmers, especially those dedicated to the cultivation of species in warm waters. However, doubts persist about the efficiency and viability of these aquaculture systems at the level of productive and economic variables. This study evaluated on a time scale of 30 weeks the Zootechnical parameters of a red Tilapia (*Oreochromis* sp.) Culture that works through a small-scale aquaculture recirculation system under a greenhouse, located at 1 285 meters above sea level in the Yamboró fish farm in the municipality of Pitalito (Huila). The system has a 14 meter diameter geomembrane pond with a capacity of 184,3 m<sup>3</sup> and a total of 8 500 fish stocked, an aeration system composed of two 1.5 hp blowers, a solids removal system with foam fractionator, settler and a biofilter for the removal of ammonia. The methodology used will sample weekly 2 % of the total fish (170 fish) in the pre-breeding, lifting and fattening phases. Among the results obtained at the end of the productive cycle of the crop, the consumption of feed (C) with 3 grams (g) per fish / day and 21,06 g per fish / week stands out. On the other hand, the average weight gain (GP) per fish remained at 13,14 g / week and 1,87 g / day; while the feed conversion (CA) registered 8 inflection periods

(week 4, 5, 6, 17, 18, 19, 24 and 26) in which it exceeded the threshold of 2. Finally, a mortality of 16,5 % and an overall survival percentage (S) of 83,5 %. The results obtained in this study allow raising the basis to establish a correlation with the productive parameters of mixed aquaculture recirculation systems in future research.

*Keywords: aquaculture, pre-breeding, raising, fattening, weight gain, survival, size.*

---

## INTRODUCCIÓN

La pesca y la acuicultura a nivel mundial siguen siendo importantes fuentes de alimentos, nutrición, ingresos y medios de vida para cientos de millones de personas en todo el mundo, contribuyendo de forma destacada a la seguridad alimentaria de una población mundial que se prevé alcance los 9 700 millones de habitantes en 2050 (FAO, 2016). Sin embargo, la presión de pesca por arrastre, la contaminación de los océanos, la eutrofización de cuerpos de aguas naturales y artificiales, junto con índices bajos de producción en cultivos piscícolas, se han convertido en problemáticas que acarrea el sector a nivel mundial. Por lo cual, la acuicultura se ha integrado como una actividad priorizada en los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) aprobados por las Naciones Unidas para la Agenda 2030 (FAO, 2018).

En relación a este complejo panorama, muchos productores e instituciones a nivel mundial han optado por dirigir sus esfuerzos de investigación y producción en Sistemas de Recirculación de Acuícola (RAS), que según (Vásquez-Gamboa, 2013) se caracterizan por ser sistemas de producción cerrados donde continuamente se filtra y recicla el agua, los peces son criados en estanques con aireación asistida y el entorno es controlado totalmente mediante el monitoreo de parámetros fisicoquímicos de calidad en agua y parámetros zootécnicos, con el fin de lograr una producción eficiente que optimiza al máximo los recursos naturales (agua y suelo).

La utilización de sistemas de recirculación acuícola (RAS) en Colombia ha adquirido gran auge entre los piscicultores, especialmente en aquellos dedicados al cultivo de tilapia (*Oreochromis sp.*). No obstante, el departamento del Huila es el principal productor piscícola con el 46 % de la producción nacional, esta actividad representa el segundo renglón productivo después del café, aportando con el 87 % de las exportaciones colombianas de tilapia hacia el mercado de los Estados Unidos y Canadá (Rincón-Machado, 2017).

Recientemente, en el municipio de Pitalito se ha instalado un sistema de recirculación acuícola (RAS) a pequeña escala, que carece de una validación productiva. Por lo tanto, este estudio de caso evaluó los parámetros zootécnicos, consumo de alimento (C), ganancia diaria de peso (GP), conversión alimenticia (CA) y sobrevivencia (S) en un cultivo de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) que opera bajo un sistema de recirculación Acuícola (RAS) ubicado en la estación piscícola Yamboró del municipio de Pitalito (Huila).

Los parámetros zootécnicos se monitorearon semanalmente durante una escala temporal de 7 meses, utilizando un muestreo al azar del 2 % (170 peces) de la población total del estanque (8500 peces). La metodología propuesta permitió determinar el comportamiento productivo del cultivo en las fases de precría, levante y ceba, desde la siembra de los alevines hasta la cosecha de los peces adultos.

---

## MATERIALES Y MÉTODOS

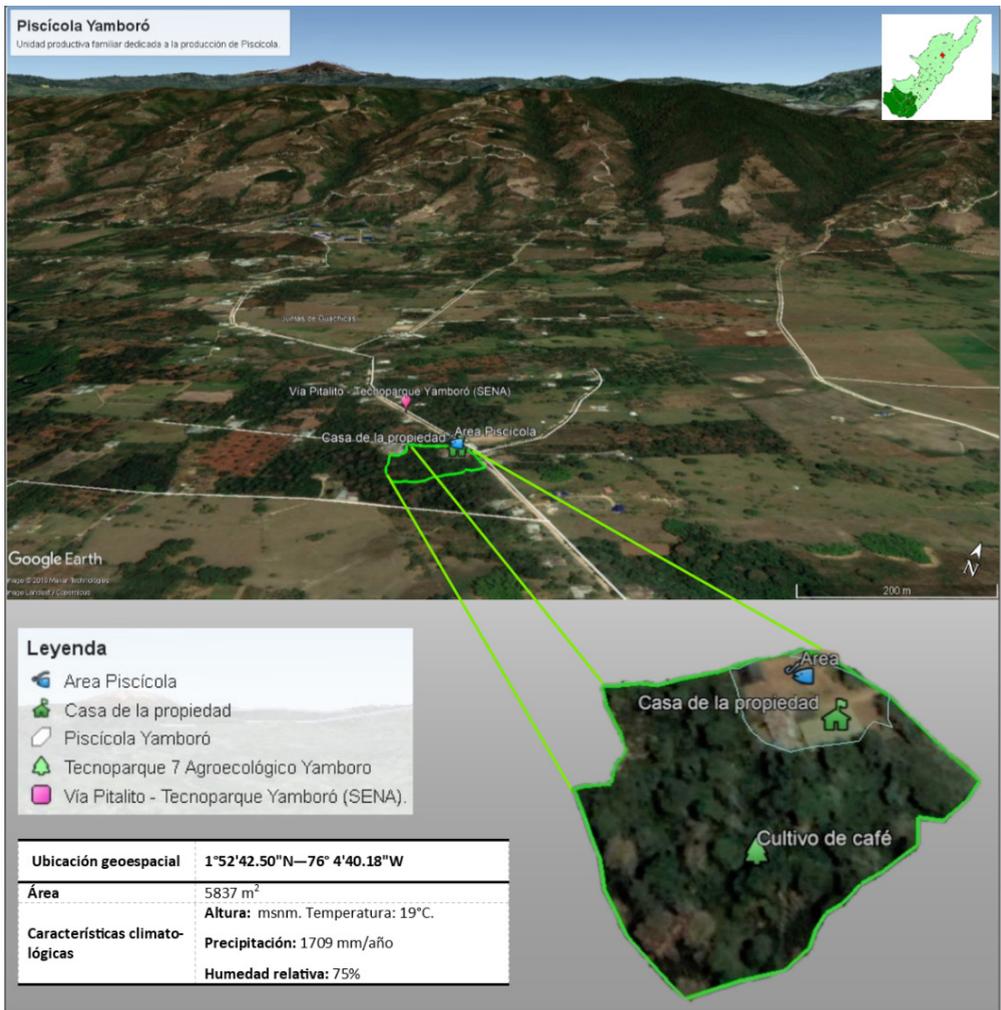
### TIPO DE ESTUDIO

Estudio de carácter descriptivo (estudio de caso) de tipo analítico debido a que se basa en la recolección de información en campo que es evaluada de forma objetiva para posteriormente compararse con referentes bibliográficos (Díaz de Salas *et al.*, 2011).

## LOCALIZACIÓN

El estudio se desarrolló en la estación piscícola Yamboró ( $1^{\circ}52'42.50''\text{N}-76^{\circ}4'40.18''\text{W}$ ) localizada a dos kilómetros del Municipio de Pitalito (Huila), sobre la vía que conduce hacia la vereda Yamboró, a una altura de 1285 m.s.n.m. y una temperatura promedio de  $20^{\circ}\text{C}$  (figura 1). Esta empresa de carácter familiar se dedica a la producción de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) y cuenta con un área de producción de  $1\,539\text{ m}^2$  y un espejo de agua de  $769,5\text{ m}^2$  en estanques circulares de geomembrana.

**FIGURA 1.** Localización de la estación piscícola



Fuente: adaptado de Google Earth, 2019.

## INFRAESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El sistema de recirculación acuícola (RAS) está conformado por un estanque de cultivo circular en geomembrana con diámetro 14 metros, altura de 1,2 m y una capacidad de 184,7 m<sup>3</sup> que opera bajo invernadero, en el que se utilizó un sistema de aireación conformado por un blower de un hp que distribuye aire por tubería de PVC y ocho mangueras de ½ pulgada con parrilla difusora en el extremo para una salida total de 2 pulgadas. El estanque presenta un drenaje central con rebalse externo en tubería de PVC acoplado a una caja reguladora de nivel.

El sistema de remoción de sólidos comprende un fraccionador de espuma (remoción de pequeños sólidos disueltos), sedimentador con filtros de malla (remoción de sólidos de gran tamaño) y un biofiltro para el proceso de nitrificación. El estanque central se comunica con el sistema de remoción de sólidos y el biofiltro a través de una red de tubos en PVC con diámetro de dos pulgadas.

## EQUIPOS Y MATERIALES PARA LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS ZOOTÉCNICOS

El pesaje y medición de los peces se realizó mediante una balanza de sensibilidad de 0,01 gramos y un pie de rey digital, con sensibilidad de 0,01 mm. Para el pesaje del concentrado se utilizó una balanza con sensibilidad de un gramo. El muestreo de los peces se realizó por el método de captura en el que se emplea dos redes tipo chinchorro con una longitud de 1mm entrenudo y un metro de largo para alevines y de 5 mm entrenudo y 1,5 m de largo para peces adultos (Lasso, 2014).

## DURACIÓN DEL CICLO PRODUCTIVO Y ESCALA TEMPORAL DE ESTUDIO

El ciclo productivo para el cultivo de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) se divide en 3 fases (precría, levante y ceba) (Kubitza, 2000) y en sistemas RAS es de aproximadamente 7 meses (30 semanas), teniendo en cuenta las condiciones climatológicas del municipio de Pitalito y los parámetros de calidad de agua presentados en la estación piscícola. Por lo tanto, la escala temporal de estudio seleccionada debe coincidir con el ciclo productivo que se estima en 210 días (30 semanas).

## RECEPCIÓN Y SIEMBRA DE ALEVINES

Los alevines de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) fueron adquiridos por parte de la estación piscícola a una empresa certificada de la región, se recibieron 8500 alevines de 30 días de edad con un peso promedio de  $1g \pm 0,1$  en bolsas plásticas con 1/3 de agua y con 2/3 de volumen de oxígeno, estos venían con un pretratamiento profiláctico de NaCl a razón de 12 gramos por bolsa. Para la siembra se introdujeron las bolsas abiertas en un área de 30 m<sup>2</sup> del estanque de cultivo (jaula construida con tubos de PVC y malla), durante 20 minutos, buscando homogenizar la temperatura del agua hasta lograr un vaciado completo de los alevines, tal y como lo afirma (Sánchez *et al.*, 2013). Se suministró alimento balanceado de iniciación con un 45 % de proteína cruda ad libitum.

## MUESTREO, MANEJO Y ALIMENTACIÓN

Se midió el peso y longitud del 2 % del total de alevines sembrados (170 peces) mediante un muestreo al azar utilizando redes de captura tipo chinchorro, este muestreo se realizó durante la recepción y posteriormente de forma semanal, para parámetros zootécnicos, y quincenal para parámetros fisicoquímicos de calidad de agua. De cada muestreo se obtuvo un peso promedio que permitió calcular la ración alimenticia diaria (monitoreo realizado los lunes de cada semana).

Se administró un balanceado comercial para cada una de las fases, en precría con un 45 % de proteína, en levante con 45 % a 38 % de proteína y ceba con 34 % a 24 % de proteína. La cantidad de alimento diario se calculó con un porcentaje de la biomasa para cada etapa de acuerdo con el tipo de alimento suministrado (tabla 1).

TABLA 1. MANEJO NUTRICIONAL DEL CULTIVO

ETAPA	Semana	Tipo de alimento	Relación biomasa: % de alimento	N. ° Raciones/día
PRECRÍA 1 a 5 g	1		12	8
	2	Iniciación (45 % PC)	10	8
LEVANTE 5 a 80 g	3		10	6
	4		9	6
	5		8	6
	6		6	4
	7	Levante (38 % PC)	5	4
	8		4	4
	9		3	4
	10		3	4
	11		3	4
	CEBA 80 a 500 g cosecha	12	Preengorde (34 % PC)	3
13		3		4
14		3		4
15		3		4
16		3		4
17		3		3
18		3	3	
19		Engorde (30 % PC)	3	3
20			3	3
21			3	3
22			2,7	3
23			2,5	3
24		Engorde (24 % PC)	2,3	3
25			2,2	3
26			2,1	3
27			2	3
28			1,8	3
29			1,5	3
30	1,7		3	

Fuente: adaptado de Nicovita (s. f).

## MONITOREO Y CÁLCULO DE PARÁMETROS ZOOTÉCNICOS

Los parámetros zootécnicos estimados fueron conversión alimenticia (CA), ganancia de peso promedio (GP), porcentaje de sobrevivencia (% S), consumo de alimento (C) y ganancia longitudinal (GL); estos parámetros se monitorearon una vez por semana hasta completar el ciclo productivo del cultivo (30 semanas), durante las cuales se aplicó una bitácora con formatos de seguimiento respectivo.

Para la estimación de los parámetros zootécnicos se aplicaron las siguientes ecuaciones:

1. Consumo de alimento (C). Hace referencia a la cantidad de alimento semanal (concentrado comercial) que consumen los peces (Carvajal-Echeverri, 2014) en relación a la etapa productiva en que se encuentra el cultivo (precría, levante y ceba). Para estimar este parámetro se tiene en cuenta la biomasa del estanque y el porcentaje de alimento según la tabla de nutrición balanceada para tilapia roja (*Oreochromis spp*) (véase tabla 1). Se controló el consumo pesando la ración de cada día.
2. Ganancia de peso promedio (GP). Es el promedio de peso ganado por el grupo de peces evaluados. Para la determinar la ganancia de peso, es necesario restar el peso promedio inicial al peso promedio final de la misma semana. A continuación, se describe la ecuación que se debe utilizar (Niño y Aguilar, 2014).

### ECUACIÓN 1. Ganancia de peso promedio

$$GP = PF - PA$$

Donde GP es ganancia de peso promedio PF peso final y PI peso inicial en gramos (g).

3. Conversión alimenticia (CA). Para la conversión alimentaria se divide el consumo de la semana sobre la ganancia de biomasa de la misma semana. Entre más bajo sea el valor obtenido mejor es la conversión alimenticia del cultivo. A continuación, se describe la ecuación utilizada (Kubitza, 2011).

### ECUACIÓN 2. Conversión alimenticia

$$CA = \frac{C}{PF - PI}$$

Donde CA es conversión alimentaria, C es consumo de la semana, PF y PI son el peso de la biomasa final e inicial en gramos (g).

4. Porcentaje de sobrevivencia (S). Hace referencia a la cantidad final de peces que culminaron con éxito el ciclo de producción. Para la determinación de la sobrevivencia es necesario tener en cuenta la cantidad de alevines sembrados y la cantidad de peces adultos cosechados al final de las 30 semanas. A continuación, se describe la ecuación utilizada (Niño y Aguilar, 2014).

**ECUACIÓN 3.** *Porcentaje de sobrevivencia*

$$\% S = \frac{PS - PC}{PS}$$

Donde PS es peces sembrados PC peces cosechados.

- Ganancia longitudinal o en talla (GL). Se refiere a la longitud total ganada por el pez desde que se siembra hasta que se cosecha. Para determinar la ganancia longitudinal es necesario restar la longitud final a la longitud inicial (Kubitza, 2011).

**ECUACIÓN 4.** *Ganancia longitudinal*

$$GL = LF - LI$$

Donde LF corresponde a Longitud final y LI Longitud inicial en centímetros (cm).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación de parámetros zootécnicos permitió confirmar la gran versatilidad y adaptación que presenta la tilapia (*Oreochromis sp.*) a temperaturas de 24°C a 30°C, frente a las variaciones en los parámetros físico químicos de calidad en agua como pH 7 a 9, tal y como lo menciona Baltazar-Guerrero (2004). No obstante, el sistema de recirculación acuícola (RAS) evaluado, presentó deficiencias estructurales y funcionales que influyen directamente en la calidad del agua y en las variables productivas del cultivo, afectando principalmente los parámetros de consumo, conversión alimenticia y porcentaje de sobrevivencia (tabla 2).

**TABLA 2.** Resultados de parámetros zootécnicos

ETAPA	N.º Sem.	Tipo de Alimento	Peso promedio (gr)	Ganancia longitudinal	Consumo semanal/pez	Ganancia de peso semanal/pez	Conversión alimenticia	% Sobrevivencia
PRECRÍA 1 a 5 g	1	Iniciación (45 % PC)	1	0,22	0,84	0,5	1,68	100 - 99,48
	2		3,1	1,1	2,17	2,1	1,03	99
LEVANTE 5 a 80 g	3	Levante (38 % PC)	5,2	1,4	3,64	2,1	1,73	98,5
	4		7,4	0,7	4,662	2,2	*2,12	98
	5		9,7	0,7	5,432	2,3	*2,36	97
	6		12,1	0,8	5,082	2,4	*2,12	96,5
	7		16,1	1,4	5,635	4	1,41	96
	8		23,4	2	6,552	7,3	0,90	95,5
	9		29,5	1,9	6,195	6,1	1,02	95
	10		37,3	1,8	7,833	7,8	1,00	94,5
	11		45,1	0,9	9,471	7,8	1,21	94
CEBA 80 a 500 g	12	Preengorde (34 % PC)	52,9	0,8	11,109	7,8	1,42	93,5
	13		61,3	1	12,873	8,4	1,53	93
	14		76,1	0,6	15,981	14,8	1,08	92,5
	15		86	1,8	18,06	9,9	1,82	92
	16		96,7	0,6	20,307	10,7	1,90	91,5
	17		105	0,4	23,52	8,3	*2,83	90,5
	18	115,1	0,7	25,7824	10,1	*2,55	89,5	
	19	Engorde (30 % PC)	129	0,6	27,993	13,9	*2,01	89
	20		148	0,6	31,08	19	1,64	88,5
	21		176	0,8	33,264	28	1,19	88
	22		194,1	0,7	33,9675	18,1	1,88	87,5
	23		215	0,7	34,615	20,9	1,66	87
	24		229	0,5	35,266	14	*2,52	86,5
	25	Engorde (24 % PC)	261	0,6	38,367	32	1,20	86
	26		280	0,6	39,2	19	2,06	85,5
	27		317,3	0,3	39,9798	37,3	1,07	85
	28		346	0,6	42,385	28,7	1,48	84,5
	29		368	0,5	43,792	22	1,99	84
30	394,8		0,7	46,9812	26,8	1,75	83,5	

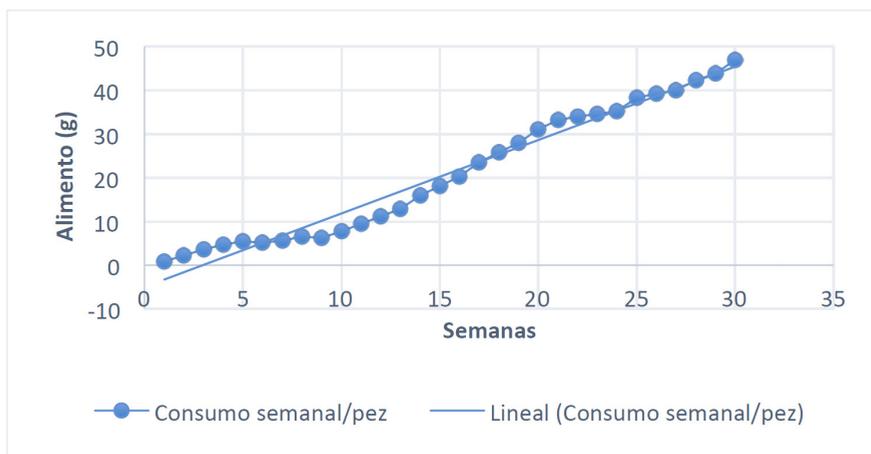
\* Valores por encima del umbral de conversión alimenticia.

Fuente: elaboración propia

Consumo. Se estimó un consumo promedio para todo el ciclo productivo de 3 gramos (g) por pez/día y de 21,06 g por pez/semana con una tendencia creciente desde la semana 1 a la semana 30, este comportamiento concuerda con los valores reportados por Kubitzka (2011) para tilapia roja. No obstante, desde la semana 5 a la semana 10 del cultivo se presentó un estancamiento en el consumo de alimento (figura 2) que coincide con los valores límite obtenidos para algunos parámetros fisicoquímicos de calidad en agua como nitritos, oxígeno disuelto y fosfatos.

Esta variación puede ser atribuida a un proceso de eutrofización de los desechos metabolizados del alimento y las heces en el agua (Guerrero-Muñoz, 2012), como resultado de una sobrecarga en los filtros biológicos y el estanque de sedimentación, lo que permitió aumentar la proliferación desproporcionada de microorganismos en el agua, materia orgánica y sólidos suspendidos, afectando el estatus sanitario, el consumo de alimento y otros parámetros zootécnicos del cultivo. Esta situación obligó a realizar un recambio del 30 % del volumen total del agua del estanque para nivelar nuevamente los parámetros de calidad del agua, adicional a ello se utilizó un producto comercial como acondicionador biológico.

**FIGURA 2.** Relación del consumo de alimento (C) durante el periodo de estudio



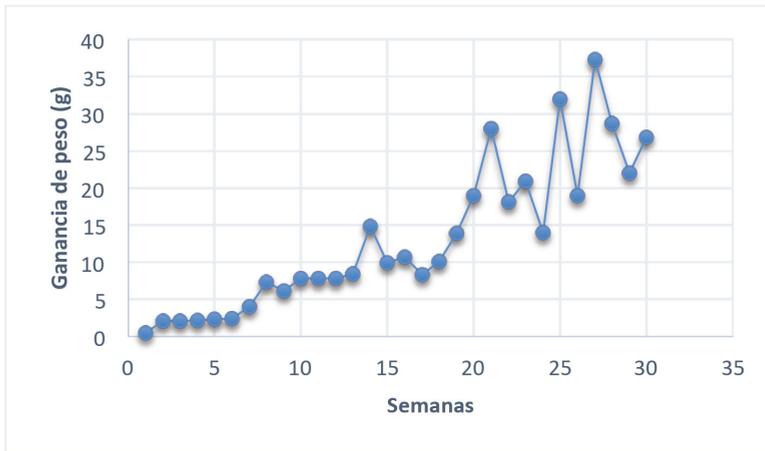
Fuente: elaboración propia.

Ganancia de peso promedio. La carga inicial del sistema fue de 0,27 kg/m<sup>3</sup>, mientras que la carga de cosecha fue de 15,31 kg/m<sup>3</sup> (38,8 peces/m<sup>3</sup>). La ganancia de peso promedio por semana al final del ciclo se mantuvo en 13,14 g/pez y la ganancia de peso promedio por día en 1,87 g/día; valores similares a los reportados por (CIPA, s.f.) para tilapia roja en condiciones favorables de clima y parámetros de calidad en agua.

Sin embargo, se presentaron fluctuaciones marcadas en la semana 17, 24, 27 y 29 (figura 3) que se atribuyen a deficiencias estructurales y funcionales del sistema de recirculación acuícola (RAS), al aumento de las poblaciones de microorganismos en el estanque y a procesos de estrés ocasionados por un brote de *streptococcus sp.* en la semana 24, lo que disminuyó el consumo de alimento y con ello la ganancia de peso promedio.

En la fase de precría se obtuvo una ganancia de peso promedio acumulada de 2,6 g/semana, en la fase de levante esta se mantuvo en 4,6 g/semana, mientras que en la fase de ceba se produjo un incremento significativo hasta alcanzar 18,41 g/semana, muy por debajo de lo reportado por Kubitzka (2000) en estudios donde encontró rendimientos acumulados de 4,2 g/semana para fase de precría, 8,2 g/semana para levante y 25,2 g/semana para ceba.

**FIGURA 3.** Ganancia de peso semanal por pez (GP) durante el periodo de estudio



Nota: representa la ganancia de peso por pez durante 30 semanas.

Fuente: elaboración propia.

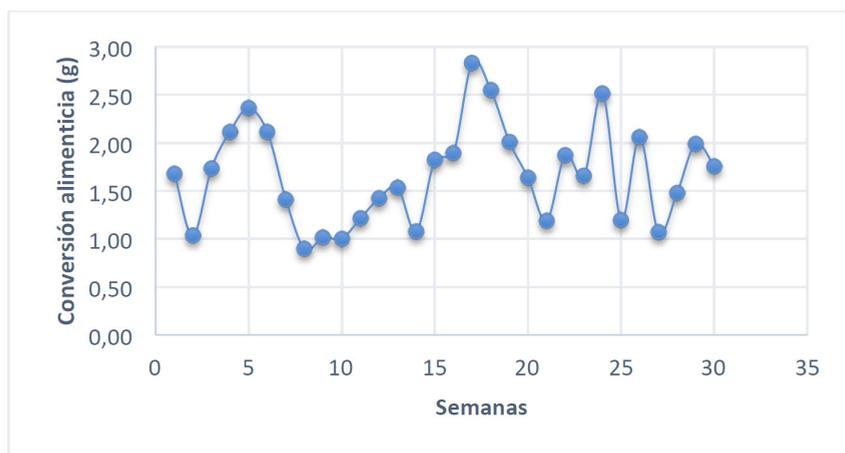
Conversión alimenticia. Este parámetro se vio afectado notablemente por las fluctuaciones en los parámetros fisicoquímicos de calidad en agua como resultado de las deficiencias presentadas en el biofiltro y sedimentador del sistema de recirculación acuícola. En la semana 1 del cultivo se obtuvo una conversión de 1,68, mientras que en la semana 30 la conversión se incrementó a 1,75; por encima de los valores óptimos reportados por Nicovita (s. f.) de 0,85 y 1,34 para la semana 1 y 30 de un cultivo semi intensivo en condiciones similares.

En la figura 4 se puede observar como la conversión alimenticia presentó 8 puntos de inflexión (semana 4, 5, 6, 17, 18, 19, 24 y 26) en los que sobrepasa el umbral de 2 puntos, esta conversión coincide nuevamente con valores bajos de consumo y ganancia de peso, que se atribuyen a cargas orgánicas altas en el agua y por consiguiente valores limitantes de algunos parámetros de calidad en agua, entre los que se destaca el amonio con 0,45 mg/L y la temperatura con 20°C (Nicovita, s. f.).

Es importante dejar en claro que en los periodos donde se exacerban algunos parámetros de calidad en agua se toman medidas relacionadas con el recambio de agua, generalmente del 30 % del volumen total del estanque, se adicionan productos biológicos para el reacondicionamiento del agua, se reduce la alimentación y se aumenta o disminuye la aireación dependiendo del parámetro afectado.

No obstante, se obtuvo una conversión alimenticia promedio de 1,67 que corresponde a un valor aceptable para las 30 semanas del ciclo productivo de la Tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en relación con lo reportado por Nicovita (s. f.) en cultivos semiintensivos donde obtuvo hasta 1,6.

**FIGURA 4.** Conversión alimenticia (CA) durante el periodo de estudio



Nota: representa la conversión alimenticia por pez durante 30 semanas.

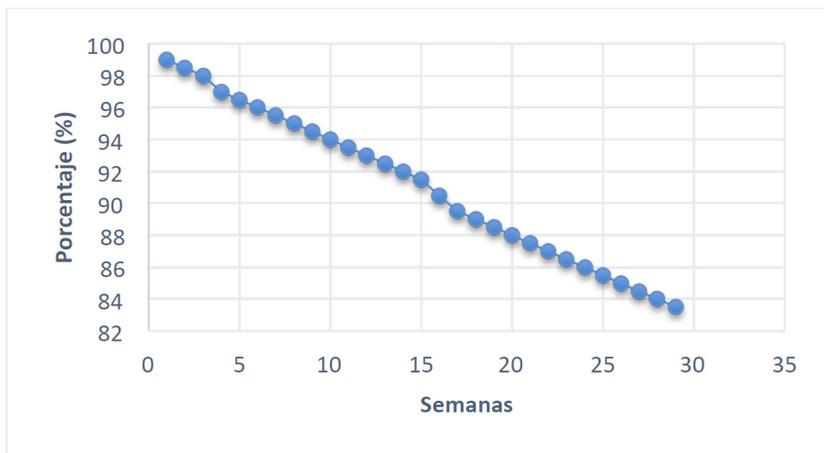
Fuente: elaboración propia.

Porcentaje de sobrevivencia. De los 8500 alevines sembrados se cosechó 7181 peces adultos al finalizar las 30 semanas de cultivo, lo que representa una pérdida de 1319 peces, con una mortalidad del 16,5 % y un porcentaje de sobrevivencia general del 83,5 %.

Con referencia a las fases productivas se obtuvo un porcentaje de sobrevivencia del 99 % para precría, 94 % para levante y 88,8 % para ceba, mientras que en estudios similares Kubitzka (2000) obtiene un porcentaje de sobrevivencia del 85 % para la fase de precría, 95 % para la fase de levante y 98 % para la fase de ceba. Esto indica que, a medida que el pez crece, este genera mayores cantidades de residuos (acumulación de heces, alimento no digerido, flocs bacterianos), que a su vez aumentan la carga orgánica del estanque llevando al límite la capacidad del sistema de recirculación acuícola (RAS), lo que finalmente se traduce en estrés de los peces, aumento de la mortalidad y obliga recambios constantes del agua (Sánchez *et al.*, 2013).

Por otra parte, se evidenció un aumento de la mortalidad en la semana 15 y 16 (figura 5) en las que se presentó una infección con streptococcus sp. ocasionando problemas dermatológicos, respiratorios y a nivel de tejidos blandos e incluso la muerte en algunos ejemplares de tilapia, que posteriormente fueron diagnosticados en laboratorio; lo que permitió instaurar un tratamiento con fármacos antimicrobianos de amplio espectro a la población restante de peces en el estanque.

**FIGURA 5.** Porcentaje de sobrevivencia (S) para el periodo de estudio



Nota: representa el porcentaje de sobrevivencia durante 30 semanas.

Fuente: elaboración propia.

Ganancia longitudinal o en talla. La mayor longitud se reportó en peces en la etapa de levante sobre la semana 8, 9 y 10 con una ganancia longitudinal de 2, 1,9 y 1,8 centímetros respectivamente. No obstante, la curva de crecimiento presenta una tendencia ascendente desde la semana 1 hasta 3 y baja repentinamente en la semana 4, 5 y 6 (figura 6) donde coincide con valores bajos para ganancias de peso (2,2; 2,3 y 2,4 gramos) y conversión alimenticia (2,12; 2,36 y 2,12).

En consecuencia, este comportamiento productivo permite concluir que los valores de consumo, ganancia longitudinal, ganancia de peso y conversión alimenticia son afectados directamente por alteraciones en los parámetros de calidad de agua, asociados a una sobreestimación del sistema de recirculación empleado especialmente en lo relacionado con biofiltración y remoción de sólidos.

Por otra parte, los alevines de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) presentaron una longitud total de 2,1 cm a la semana 2 del cultivo, mientras Aguilar (2010) reporta crecimientos con una longitud total de 3,1 cm en condiciones similares de cultivo, lo que demuestra una diferencia 1cm de longitud total, que pueden atribuirse a múltiples variables, especialmente aquellas relacionadas con la procedencia de la semilla, genética y parámetros de calidad en agua.

**FIGURA 6.** Ganancia Longitudinal (GL) durante el periodo de estudio



Nota: representa el porcentaje de sobrevivencia durante 30 semanas.

Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

Los sistemas de recirculación acuícola (RAS) se han constituido en una alternativa de producción eficiente para el cultivo intensivo de peces con relación a los sistemas tradicionales de estanques a cielo abierto. Sin embargo, estos sistemas resultan costosos, requieren una correcta planeación, supervisión permanente con personal idóneo y deben ser monitoreados constantemente en cuanto a parámetros fisicoquímicos de calidad en agua y parámetros zootécnicos.

Este estudio permitió evaluar en una escala temporal de 30 semanas los parámetros zootécnicos, consumo de alimento (C), ganancia de peso promedio (GP), conversión alimenticia (CA) y sobrevivencia (S) de un cultivo de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) que opera mediante un sistema RAS en la fase de precría, levante y ceiba. Dichos parámetros estuvieron influenciados por deficiencias en la remoción de sólidos y biofiltración del sistema RAS implementado, por lo que se vieron afectados en las semanas 3, 4, 9, 17, 24 y 27 del ciclo productivo del cultivo; donde se presentaron niveles altos de materia orgánica y valores limitantes para parámetros fisicoquímicos de calidad en agua que se traducen en mortalidad y recambios de agua en el estanque.

Entre los resultados obtenidos al final del ciclo productivo del cultivo se destaca el consumo de alimento (C) con 3 gramos (g) por pez/día y 21,06 g por pez/semana. Por otra parte, la ganancia de peso promedio (GP) por pez se mantuvo en 13,14 g/semana y 1,87 g/día; mientras que la conversión alimenticia (CA) registro 8 periodos de inflexión (semana 4, 5, 6, 17, 18, 19, 24 y 26) en los que sobrepasa el umbral de 2. Finalmente se obtuvo una mortalidad del 16,5 % y un porcentaje de sobrevivencia general (S) del 83,5 %.

Los resultados obtenidos en el estudio plantean las bases para una investigación posterior en la que se correlacionen los parámetros zootécnicos obtenidos en tilapia roja (*Oreochromis sp.*) con los parámetros fisicoquímicos de calidad en agua para sistemas mixtos de recirculación acuícola (RAS). Esto permite dilucidar las ventajas comparativas y mejorar la eficiencia los sistemas productivos existentes.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a don Rodrigo Ordoñez y familia, propietarios de la estación piscícola Yamboró por facilitar materiales, insumos e información para el desarrollo del estudio. A la ingeniera Nelly María Méndez por liderar los procesos de investigación en la UNAD, CCAV – Pitalito.

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, F. A. (2010). *Modelos matemáticos no lineales como herramienta para evaluar el crecimiento de tilapia roja (Oreochromis sp.) y tilapia nilótica (Oreochromis niloticus Var. Chitralada) alimentadas con dietas peletizadas o extruida* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/6737>

Baltazar-Guerrero, P. M. (2004). *Manual de cultivo de Tilapia*. Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero – FONDEPES, Agencia Española de Cooperación Internacional – AEI, Unidad de Gestión del Proyecto PADESPA.

Carvajal-Echeverri, J. P. (2014). *Comparación de Parámetros zootécnicos y de calidad de agua de tres sistemas de precría* [Trabajo de grado]. Corporación Universitaria Lasallista. <https://n9.cl/s0ov7>

CIPA. (s.f). Parámetros productivos. Cálculo de consumo de alimento para proyecto productivo de tilapia roja. <https://porcicultura.cipa.com.co/wp-content/uploads/2019/11/Parametros-Productivos-Alimentacion-para-Peces-Aguas-C%C3%A1lidas.pdf>

Díaz de Salas, S., Mendoza-Martínez, V. y Porras-Morales, C. (2011). Una guía para la elaboración de estudios de caso. *Razón y Palabra*, (75). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=199518706040>

FAO. (2016). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/a-i5555s.pdf>

FAO. (2018). *Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/I9540ES/i9540es.pdf>

Guerrero-Muñoz, J. (2012). *Capacidad de Carga vs. Calidad de agua en Acuicultura* [Presentación de diapositivas]. Agrinal. <https://es.calameo.com/read/0047829542cfb61bd564f>

Kubitza, F. (2000). Qualidade da água, sistemas de cultivo, planejamento da produção, manejo nutricional e alimentar e sanidade. *Panorama da Aquicultura*, 10(59), 44-53. [http://www.acquaimagem.com.br/docs/Pan59\\_Kubitza.pdf](http://www.acquaimagem.com.br/docs/Pan59_Kubitza.pdf)

Kubitza, F. (2011). *Tecnologia e planejamento na produção comercial*. Acqua Supre.

Lasso, C. A. (2014). *Descripción metodológica para la evaluación biológica en los complejos de humedales*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <http://hdl.handle.net/20.500.11761/9591>

Nicovita. (s. f.). *Manual de crianza tilapia*. Alicorp. <https://n9.cl/16wt8>

Niño, H. y Aguilar, O. X. (2014). Crecimiento y conversión alimenticia de tilapia roja “*Oreochromis sp*” con diferentes frecuencias de alimentación. *Innovando en la U*, 6, 56-66.

Rincón-Machado, A., Estrella-Medina, I. y Carrera, L. (2017). *Informe de Coyuntura Económica*. Cámara de comercio de Neiva, Departamento de Competitividad, Innovación y Emprendimiento. <https://n9.cl/ag8js>

Sánchez, A. I., Burbano, A., Revelo, D. M., García, R. y Guerrero, C. (2013). Eficiencia de Consorcios Micorbianos para tratamiento de aguas residuales en un sistema de recirculación acuícola. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 245 - 254. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/279>

Vásquez-Gamboa, L. (2013). Sistemas de recirculación de agua (RAS) en Piscicultura. *Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola*, 7(7), 1-7. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/view/1483>

## ANEXOS

TABLA 3. Resultados parámetros fisicoquímicos de calidad en agua

ETAPA	Semana	Mes	Asunto	pH	OD (mg/L)	Conductividad	Temperatura	Amonio (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	Fosfatos (mg/L)
PRECRÍA 1 a 5 gr	1	1		7	6,4	314us/cm	24	0,15	0,46	0,02	32,4	32,4	1,5
	2			7,7	6,4	322 us/cm	24	0,16	0,41	0,018	32,5	31,9	1,6
3			7,5	6,3	321us/cm	24	0,16	0,45	0,02	33,2	32,8	1,8	
4			7	6,1	189us/cm	24	0,14	0,48	0,019	36,5	35,4	1,8	
LEVANTE 5 a 80 gr	5	2		7,8	5,9	320us/cm	23	0,15	0,47	0,018	34,2	33,9	1,8
	6			7,1	6	250us/cm	20	0,17	0,49	0,02	34,2	33,8	2,3
	7			7,2	5,7	418us/cm	21	0,2	0,46	0,019	34,5	33,7	2,5
	8	3		7,5	5,4	325us/cm	22	0,19	0,45	0,019	34,6	33,6	2,7
	9			7,6	5	321us/cm	20	0,24	0,47	0,02	35	30,8	2,9
	10		recambio	7,4	6,4	320us/cm	23	0,25	0,4	0,02	31,2	33,1	2,5
	11			7,1	6,3	344us/cm	24	0,21	0,45	0,022	32,7	31	3,4
12	4		7,1	6,2	412us/cm	23	0,21	0,45	0,024	33,5	32,3	3,8	
13			6,9	5,8	325us/cm	24	0,2	0,44	0,023	32,6	32,5	4	
14			7,2	5,3	347us/cm	23	0,22	0,45	0,021	34,1	33,9	4,8	
15			7,3	5,1	234us/cm	24	0,22	0,44	0,021	32,5	31,7	4,7	
16			7,1	4,7	345us/cm	24	0,21	0,43	0,023	31,5	31,5	4,9	
17		5		7	4,6	245us/cm	24	0,24	0,47	0,024	32,4	32,3	5
18			recambio	6,9	6,1	432us/cm	25	0,15	0,42	0,02	31,2	31,1	3,5
19			6,7	5,5		25	0,17	0,43	0,024	32,5	33,8	3,9	
20	6		6,9	5,2		24	0,18	0,44	0,024	33,2	32,7	4,2	
21			7,2	5		24	0,24	0,47	0,024	34,7	31,7	4,5	
22		recambio	7,2	6		25	0,18	0,41	0,021	31,8	30,9	3,6	
23			7,2	5,8		24	0,22	0,42	0,021	34,5	33,9	3,8	
24			7,1	5,5		25	0,22	0,43	0,022	33,5	33,1	3,9	
25		7		7,2	4,9		25	0,21	0,45	0,02	34,1	33,8	4,5
26			7,1	4,8		25	0,25	0,48	0,028	32,5	32,5	4,9	
27	recambio		7,2	5,5		24	0,22	0,41	0,021	31,5	31,5	4,4	
28			7,4	5,2		25	0,21	0,43	0,02	33,5	33,2	5,1	
29	2			7,6	4,8		24	0,22	0,42	0,021	34,7	34,6	5,1
30			7	4,75		25	0,2	0,45	0,022	32,8	32,7	5,3	

Fuente: elaboración propia.

## 22.2 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FISI-COQUÍMICOS EN UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN ACUÍCOLA (RAS) CON CULTIVO DE TILAPIA ROJA (*OREOCHROMIS SP.*) EN EL MUNICIPIO PITALITO (HUILA). ESTUDIO DE CASO

---

Walter Ariza Camacho

Ingeniero Ambiental, Magíster en Ingeniería Química, Profesional asociado, Universidad Nacional Abierta a Distancia (UNAD), Pitalito, Huila, Colombia.

Ing.walca@gmail.com

Leonardo Antonio Aguilera Castro

Médico Veterinario Zootecnista, Esp. en Nutrición Animal Sostenible, Profesional asociado, Universidad Nacional Abierta a Distancia (UNAD), Pitalito, Huila, Colombia.

leonardo.aguilera.mvz@gmail.com

Andrés Mauricio Munar Samboní

Ingeniero Ambiental, Universidad del Cauca.

Magíster en Ecología y Gestión de Ecosistemas Estratégicos, PhD en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental, Docente investigador, Universidad Nacional Abierta a Distancia (UNAD), Colombia.

andres.munar@unad.edu.co

---

### RESUMEN

Los sistemas de recirculación acuicultura son una alternativa utilizada para la producción intensiva de peces; sin embargo, requiere de un control constante en los parámetros de calidad del agua ya que estos pueden afectar las tasas de crecimiento de los peces. El objetivo del presente estudio fue la evaluación de los parámetros fisicoquímico en unos sistemas de recirculación acuícola utilizados en la producción de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en el municipio de Pitalito-Huila. El sistema cuenta con un estanque de producción en el cual se tienen 8 500 peces sembrados, un filtro para remoción de sólidos, un fraccionador de espuma, un reactor nitrificante y un reservorio en

donde el agua es recirculada al tanque de producción. El tanque de producción cuenta con dos aireadores que se activan según el requerimiento de oxígeno del sistema. Para el desarrollo metodológico se utilizó un multiparamétrico que permite la medición de la temperatura, potencial de hidrogeno y oxígeno disuelto; en relación con demanda bioquímica de oxígeno fue utilizado el método de incubación y electrometría en laboratorio, el restante de los parámetros estudiados fue analizado con kit Hanna de rango medio. Los resultados del análisis muestran poca conversión de amonio a nitrato, lo cual sugiere problemas en el reactor nitrificante; sin embargo, las concentraciones de amonio en el sistema no afectaron el desarrollo de los peces. También fue posible evidenciar que los recambios periódicos generan una mejor consistencia en la concentración de oxígeno en el sistema al tiempo que permiten la remoción de fosfatos.

**Palabras clave:** *acuicultura, calidad, monitoreo, fisicoquímicos, tilapia.*

## ABSTRACT

Recirculating aquaculture systems are an alternative used for intensive fish production; However, it requires constant control of water quality parameters as these can affect the growth rates of the fish. The objective of the present study was the evaluation of the physicochemical parameters in a recirculating aquaculture system used in the production of red Tilapia (*Oreochromis sp.*) In the municipality of Pitalito-Huila. The system has a production pond in which there are 8500 seeded fish, a filter for solids removal and foam fractionator, a nitrifying reactor and a reservoir where water is recirculated to the production tank. The production tank has two aerators that are activated according to the oxygen requirement of the system. For the methodological development a multiparameter was used that allows the measurement of the temperature, potential of hydrogen and dissolved oxygen, in relation to Biochemical Oxygen Demand the incubation method and electrometry were used in the laboratory, the rest of the parameters studied were analyzed with Mid-range Hanna kit. The results of the analysis show little conversion of ammonium to nitrate which suggests problems in the nitrifying reactor; however, ammonium concentrations in the system did not affect the development of the fish. The results also allowed us to show that periodic replacements generate a better consistency in the concentration of oxygen in the system while allowing the removal of phosphates.

**Keywords:** *aquaculture, monitoring, physicochemicals, quality, tilapia.*

## INTRODUCCIÓN

La acuicultura representa el 47 % de la producción pesquera mundial (FAO, 2016), esto evidencia que en la medida en que las fuentes de la pesca se acercan a niveles máximos de captura, la acuicultura ayudará a satisfacer la cada vez mayor demanda global de pescados. Sin embargo, este desarrollo ha traído consigo problemas ambientales como la eutrofización generada por el incremento de nutrientes (nitrógeno y fosforo) en los cuerpos de agua y el deterioro en las fuentes hídricas por el aumento de la materia orgánica e inorgánica descargada (Mühlhauser y Vila, 1987).

No obstante, estas prácticas han ido cambiando al paso del tiempo y esto ha permitido el desarrollo de tecnologías que permiten, además de un menor impacto al medio ambiente, una mayor capacidad de producción piscícola por metro cuadrado (FAO, 1978). También cabe destacar la mayor conciencia por el cuidado al medio ambiente por parte de la sociedad, en forma tal que los gobiernos de los países del mundo continúan promoviendo iniciativas de ley para establecer normas jurídicas que permitan el ordenamiento acuícola y pesquero (Solís, 2003).

Uno de los modelos más eficientes y respetuosos con el medio ambiente utilizados en la última década son los sistemas de recirculación en acuicultura (RAS, por sus siglas en inglés) (Bregnballe, 2010); estos sistemas son muy utilizados por sus ventajas percibidas: poco requerimiento de tierra y agua, un alto grado de control ambiental que evita la proliferación de enfermedades y la alta tasa de producción por metro cuadrado de la especie (Masser *et al.*, 1999).

Los sistemas de recirculación acuícola (RSA) son procesos donde el agua utilizada en los estanques de producción se canaliza a un tren de tratamiento para reacondicionar el efluente, permitiendo la vida acuática. Estos trenes de tratamiento tienen cuatro funciones básicas: circulación de agua, remoción de sólidos, biofiltración e intercambio gaseoso (Timmons *et al.*, 2009).

Ahora bien, el crecimiento de los peces depende en gran parte de la calidad del agua donde viven; razón por la cual es necesario mantener las condiciones fisicoquímicas del agua dentro de los límites de tolerancia para la especie a cultivada (Bautista y Ruíz-Velazco, 2011); para el caso de la tilapia roja (*Oreochromis sp.*), especie utilizada en

el presente estudio, los valores óptimos de oscilación de algunos parámetros fisicoquímicos de importancia están definidos como sigue: temperatura (T: 20-30 °C), potencial de hidrogeno (pH:7-8), oxígeno disuelto (OD: 4-6 mg/L), amonio (N-NH<sub>3</sub>:0-0,1 mg/L), nitrato (NO<sub>3</sub>: 0-2 mg/L), nitrito (NO<sub>2</sub>: 0-0,1 mg/L) y fosfato (PO<sub>4</sub>:0.6-8 mg/L) (Martínez, 2006; Chaux y Fernández, 2013); respecto a las concentraciones de demanda biológica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) se tienen valores aceptables entre 5-20 mg/L y 40-80 mg/L respectivamente (Boyd, 1998).

Para el caso de los sistemas de recirculación acuícola, como se operan con densidades de cultivo altas, la eficiencia de estos depende en gran medida del control que se tenga sobre los parámetros fisicoquímicos. En estos sistemas, se excretan altos niveles de nitrógeno amoniacal debido al alto contenido de proteína del alimento y a la alta densidad de producción (Sánchez *et al.*, 2013); por ende, el balance entre el amonio producido por los peces, el alimento no consumido y la biomasa de bacterias muertas debe estar equilibrado con la tasa de remoción de amonio mediante el cambio de agua y la filtración biológica (Suhr y Pedersen, 2010). En otras palabras, la concentración de amonio disuelto en el agua determina la capacidad de carga del estanque y de las dimensiones de las unidades biológicas del tren de tratamiento (Chen *et al.*, 2006; Eding *et al.*, 2006; Timmons *et al.*, 2006).

Los nitritos son un producto intermedio de la transformación del amoníaco en nitrato por la actividad bacteriana. El nitrito es tóxico para los peces, disminuyendo la capacidad de la hemoglobina para transportar oxígeno, por lo cual su toxicidad está relacionada con el oxígeno disuelto en agua (Carvajal-Echeverri, 2014). En relación a la concentración de nitrato los niveles de hasta 40 mg/L son generalmente seguros para los peces, sin embargo, un valor superior a 80 mg/L puede ser tóxico.

Por otra parte, las altas concentraciones de fosfato en los estanques de producción se deben principalmente a la acumulación de residuos de la alimentación de los peces y la poca remoción de fosfato alcanzada en los sistemas de recirculación acuícola a causa de la aireación (Egna y Boyd,1997).

En esta investigación se evaluaron los parámetros fisicoquímicos en unos sistemas de recirculación acuícola utilizado en la producción de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en el municipio de Pitalito-Huila.

## MATERIALES Y MÉTODOS

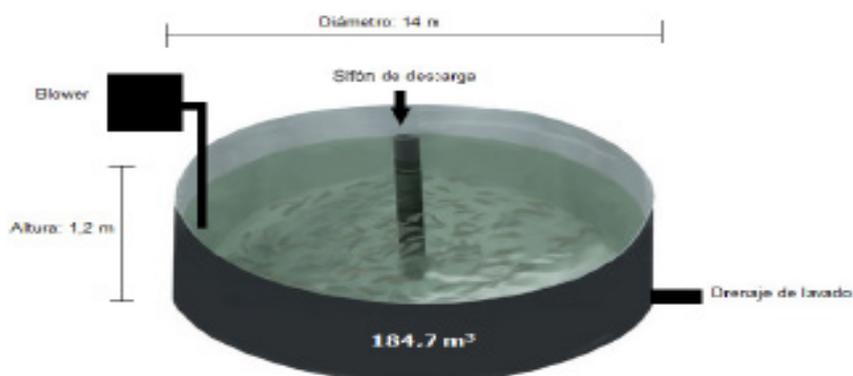
### LOCALIZACIÓN

El estudio fue desarrollado en el municipio de Pitalito (Huila) en la estación piscícola Yamboró ( $1^{\circ}52'42.50''\text{N}$ - $76^{\circ}4'40.18''\text{W}$ ). La estación se encuentra a 1 285 m.s.n.m. y presenta una temperatura promedio de  $20^{\circ}\text{C}$ . La empresa es de carácter familiar y se dedica a la producción de tilapia roja (*Oreochromis sp.*). El área de producción es de aproximadamente  $1\,539\text{ m}^2$  y presenta un espejo de agua de  $769,5\text{ m}^2$  en estanques circulares de geomembrana.

### INFRAESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El sistema de recirculación acuícola (RAS) fue conformado por un estanque de cultivo circular en geomembrana operado en invernadero para evitar la pérdida de temperatura, se utilizó un sistema de aireación conformado por un blower de 1 hp que distribuye aire por tubería de PVC y 8 mangueras de  $\frac{1}{2}$ " con parrilla difusora en el extremo para una salida total de 2". El estanque presenta un drenaje central con rebalse externo en tubería de PVC acoplado a una caja reguladora de nivel (figura 1).

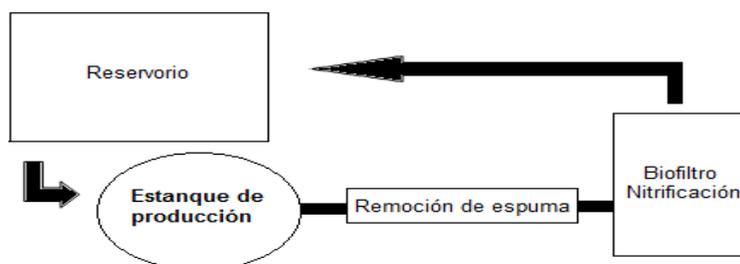
**FIGURA 1.** Esquema de un tanque de un sistema de recirculación acuícola (RAS)



Fuente: elaboración propia.

Además, se cuenta con un sistema de remoción de sólidos que comprende un fraccionador de espuma (remoción de pequeños sólidos disueltos), un sedimentador con filtros de malla (remoción de sólidos de gran tamaño) y un biofiltro para el proceso de nitrificación. El estanque central se comunica con el sistema de remoción de sólidos y el biofiltro a través de una red de tubos en PVC con diámetro de 2 pulgadas (figura 2).

**FIGURA 2.** Esquema general sistemas de recirculación acuícola (RAS)



Fuente: elaboración propia.

## EQUIPOS Y MONITOREO DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

Para la medición de los parámetros temperatura (T), potencial de hidrogeno (pH) y oxígeno disuelto (OD) fue utilizada una sonda multiparamétrica marca Hanna referencia 98000; para los aniones amonio (N-NH<sub>3</sub>), nitritos (NO<sub>2</sub>), nitratos (NO<sub>3</sub>) y demanda química de oxígeno (DQO) se utilizaron kit Hanna de rango medio; por último, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) fue medida mediante agotamiento de oxígeno en incubación y electrometría. La frecuencia de medición de los parámetros fisicoquímicos fue realizada según los criterios del sistema (tabla 1).

**TABLA 1.** Parámetros monitoreados, equipos utilizados y tiempos de medición

Parámetro	Equipo utilizado	Medición
Temperatura	Sensor HI7698194-2 Multiparamétrico	Diario
Potencial de hidrogeno	Sensor HI7698194-0 Multiparamétrico	Diario
Oxígeno disuelto	Sensor HI7698194-2 Multiparamétrico	Diario
Amonio	Kit Hanna HI 38049	Semanal
Nitrato	Kit Hanna HI 3874	Semanal
Nitrito	Kit Hanna HI 3873	Semanal
DBO	Incubación y electrometría	15 días
DQO	Kit Hanna HI 93759	15 días
Fosfato	Kit Hanna HI 3833	Semanal

Fuente: elaboración propia.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos del monitoreo de parámetros fisicoquímicos son presentados a continuación (tabla 2); las semanas resaltadas en negrilla corresponde a recambios realizados en el sistema a causa de la alteración en algún parámetro fisicoquímico respecto a la franja de calidad de agua óptima para la producción de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) reportada en la literatura.

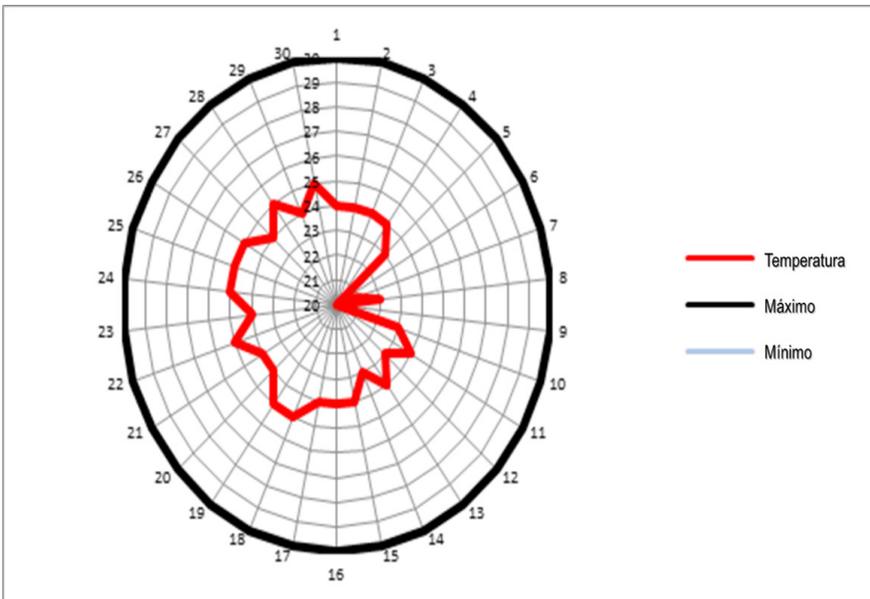
**TABLA 3.** Resultados de parámetros zootécnicos

ETAPA	N.º Sem.	T (°C)	pH	OD (mg/L)	N-NH3 (mg/L)	NO2 (mg/L)	NO3 (mg/L)	PO4 (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)
PRECRÍA	1	24	7	6,4	0,15	0,02	0,46	1,5	32,4	32,4
	2	24	7,7	6,4	0,16	0,018	0,41	1,6	-	-
LEVANTE	3	24	7,5	6,3	0,16	0,02	0,45	1,8	33,2	32,8
	4	24	7	6,1	0,14	0,019	0,48	1,8	-	-
	5	23	7,8	5,9	0,15	0,018	0,47	1,8	34,2	33,9
	6	20	7,1	6	0,17	0,02	0,49	2,3	-	-
	7	21	7,2	5,7	0,2	0,019	0,46	2,5	34,5	33,7
	8	22	7,5	5,4	0,19	0,019	0,45	2,7	-	-
	9	20	7,6	5	0,24	0,02	0,47	2,9	35	30,8
	10	23	7,4	6,4	0,25	0,02	0,4	2,5	-	-
	11	24	7,1	6,3	0,21	0,022	0,45	3,4	32,7	31
	12	23	7,1	6,2	0,21	0,024	0,45	3,8	-	-
CEBA	13	24	6,9	5,8	0,2	0,023	0,44	4	32,6	32,5
	14	23	7,2	5,3	0,22	0,021	0,45	4,8	-	-
	15	24	7,3	5,1	0,22	0,021	0,44	4,7	32,5	31,7
	16	24	7,1	4,7	0,21	0,023	0,43	4,9	-	-
	17	24	7	4,6	0,24	0,024	0,47	5	32,4	32,3
	18	25	6,9	6,1	0,15	0,02	0,42	3,5	-	-
	19	25	6,7	5,5	0,17	0,024	0,43	3,9	32,5	33,8
	20	24	6,9	5,2	0,18	0,024	0,44	4,2	-	-
	21	24	7,2	5	0,24	0,024	0,47	4,5	34,7	31,7
	22	25	7,2	6	0,18	0,021	0,41	3,6	-	-
23	24	7,2	5,8	0,22	0,021	0,42	3,8	34,5	33,9	
24	25	7,1	5,5	0,22	0,022	0,43	3,9	-	-	
25	25	7,2	4,9	0,21	0,02	0,45	4,5	34,1	33,8	
26	25	7,1	4,8	0,25	0,028	0,48	4,9	-	-	
27	24	7,2	5,5	0,22	0,021	0,41	4,4	31,5	31,5	
28	25	7,4	5,2	0,21	0,02	0,43	5,1	-	-	
29	24	7,6	4,8	0,22	0,021	0,42	5,1	34,7	34,6	
30	25	7	4,75	0,2	0,022	0,45	5,3	-	-	

Fuente: elaboración propia.

Temperatura: la temperatura promedio del municipio de Pitalito para el periodo del presente estudio osciló entre 18-23°C, según la estación climatológica Sevilla instalada en Pitalito por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). El cultivo de Tilapia roja (*Oreochromis sp.*) presentó mayores producciones a temperaturas cercanas o superiores a 30°C; es por esto, que, para mejorar la productividad, el sistema fue instalada bajo un invernadero de plástico que impide la salida del aire caliente permitiendo que la temperatura del agua permanezca por encima de la temperatura media del ambiente. A continuación, se presentan los datos de temperatura monitoreados en el sistema junto con la granja de temperatura máxima y mínima para el cultivo de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) (figura 3).

**FIGURA 3.** Fluctuación de la temperatura en las 30 semanas de estudio



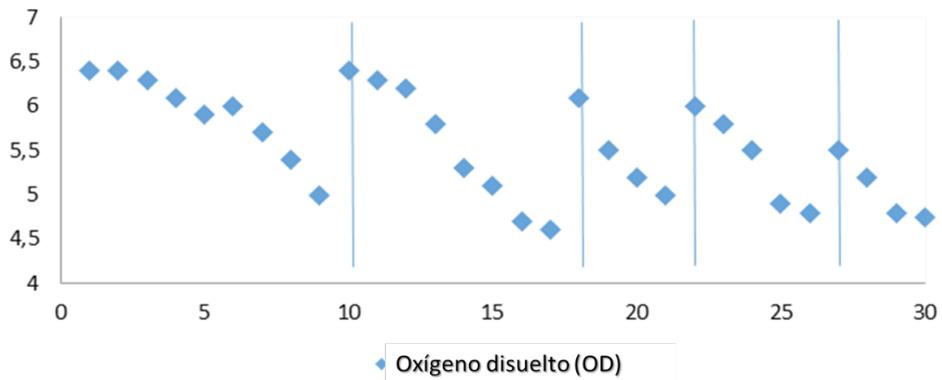
Fuente: elaboración propia.

Como se puede evidenciar en la gráfica de temperatura, se presentaron problemas de bajas temperaturas entre las semanas 6 y 9; sin embargo, estas no son inferiores a la temperatura ambiente. El resto del tiempo las temperaturas permanecieron constantes entre 24 y 25 °C, demostrando que el uso de invernaderos puede significar un gran éxito si se quiere subir la temperatura del agua en uno 4 o 5°C en relación a la temperatura ambiente. Cabe destacar que, si bien el crecimiento de la especie se maximiza a temperaturas mayores, la temperatura reportada en el presente estudio es óptima para la producción de tilapia roja (*Oreochromis sp.*).

Potencial de hidrogeno pH: en relación a este parámetro se evidencia una ligera tendencia hacia la basicidad; sin embargo, el agua se encuentra con un pH dentro de la franja óptima para crecimiento de la especie; cabe destacar que esto se debe a que el sistema se encuentra en constante aireación, lo que favorece la desgasificación y por tanto permite un mayor control de este parámetro.

Oxígeno disuelto (OD): el OD es uno de los parámetros de mayor control en la producción de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) con altas tasas de siembra; es así, como concentraciones de OD por debajo de 4 mg/L generan estrés en la especie y afectan el crecimiento de la misma. La siguiente figura presenta el comportamiento del oxígeno disuelto en las 30 semanas del ciclo productivo; las líneas representan los momentos de recambio de agua en el sistema (figura 4).

**FIGURA 4.** Comportamiento del OD en el sistema

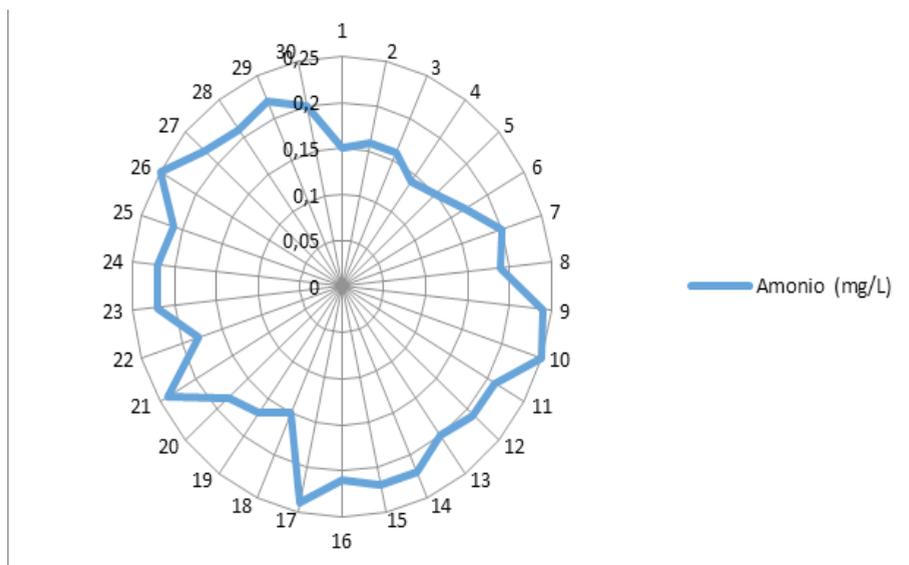


Fuente: elaboración propia.

La figura 4 nos permite evidenciar el requerimiento de oxígeno por parte del cultivo; es así como para las primeras semanas, que corresponden a la fase de precría y levante, los requerimientos son menores en relación a la fase de ceba; también se evidencia que en la medida en que el agua comienza a madurarse la disponibilidad de oxígeno es menor. Esto es contrarrestado en parte por los recambios de agua realizados ya que elevan la retención de oxígeno; sin embargo, a largo plazo puede que esta alternativa se vuelva insostenible.

Amonio N-NH<sub>3</sub>: las concentraciones óptimas de amonio para el crecimiento de tilapia roja se encuentran entre 0 a 0,1 mg/L; sin embargo, un estudio realizado por Hernández-Barraza *et al.* (2016) presentó valores máximos de amonio en el agua de 0,26 mg/L sin reportar problemas en el crecimiento de la especie. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el análisis de amonio en el estanque de producción (figura 5).

**FIGURA 5.** Resultados de monitoreo de amonio en el sistema



Fuente: elaboración propia.

Las concentraciones máximas de amonio (N-NH<sub>3</sub>) encontradas en los análisis fueron de 0,25 mg/L, un valor muy por encima del valor óptimo reportado en la literatura para producción de tilapia roja; sin embargo, esto puede deberse a que el sistema de nitrificación se encontraba en fase de arranque por tanto las poblaciones microbianas de Nitrosomonas y Nitrobacter encargadas de transformar el amonio a nitrato no se encuentran totalmente establecidas y su eficiencia de remoción no era del 100 %.

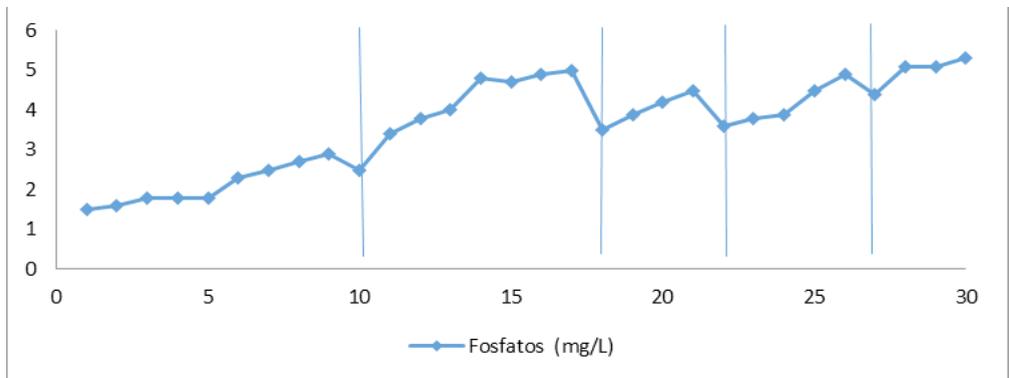
Cabe destacar que pese a los recambios realizados no se encontraron en los análisis reportes de amonio por debajo de 0,15 mg/L lo cual sugiere problemas en la toma de los análisis; esto dado que los peces no presentaron problema de crecimiento o mortalidad a causa de la concentración de amonio.

Nitrato NO<sub>3</sub> y nitrito NO<sub>2</sub>: las concentraciones de nitrato reportados en los análisis se encuentran entre 0,4-0,5 mg/L, los cuales son valores óptimos para la producción de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) y se encuentran muy por debajo de ser perjudiciales para los peces. En cuanto a las concentraciones reportadas de nitritos, un compuesto intermedio de la nitrificación (conversión de amonio a nitrato), se tienen valores de 0,021±0,003 mg/L, los cuales son óptimos para el crecimiento de la especie y están muy alejado de los valores tóxicos para la tilapia roja (*Oreochromis sp.*).

Al comparar las bajas concentraciones de nitrato y nitrito y las altas concentraciones de amonio, se puede afirmar que la eficiencia en la nitrificación es muy baja; esto puede deberse, como se dijo anteriormente, a que las poblaciones microbianas aún no están totalmente establecidas o a problemas en la operación de reactor nitrificante.

Fosfatos PO<sub>4</sub>: una de las formas de remoción de fosfatos en los estanques de producción acuícola es mediante el uso de algas; sin embargo, esto traería problemas de obstrucción en el sistema de tratamiento y recirculación del agua; por tanto, si se quiere garantizar una buena producción es necesario el monitoreo constante de la concentración de fosfato, para que cuando este llegue a valores críticos se realice el recambio del agua necesario. A continuación, se presenta el comportamiento del sistema del fosfato en el sistema de recirculación acuícola (figura 6).

**FIGURA 6.** Resultados del comportamiento de fosfato



Fuente: elaboración propia.

Se evidencia un incremento en la concentración de fosfato en el tiempo de operación del sistema pese a los recambios realizados (los recambios se representan con líneas azules en la gráfica); esto se debe a que el suministro de alimento, y por tanto el aporte de fosfato en los estanques, se incrementa en la medida que el alevino crece; además la única remoción de fosfato que se realiza es mediante los recambios y en menor medida la sedimentación en el reactor nitrificante y el reservorio. Respecto a los resultados obtenidos se evidencia que gracias a los recambios las concentraciones de fosfato se encuentran dentro de la franja de valores óptimos para la producción de tilapia roja (*Oreochromis sp.*).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO): los resultados de los análisis tanto de la DBO como de la DQO reportó concentraciones promedio entre 31-35 mg/L, las cuales no disminuyen en relación a los recambios realizados; esto sugiere que el agua de entrada al sistema está contaminada levemente.

Esta contaminación puede deberse a actividades antrópicas y asentamientos aguas arriba de la bocatoma que no cuentan con sistemas de descontaminación del agua; si bien esto puede llevar a presentar un problema para el crecimiento de la especie estudiada, se evidencia que no se presentaron problemas severos por contaminación de cargas orgánicas externas.

---

## CONCLUSIONES

Los sistemas de recirculación acuícola (RAS) son una alternativa muy eficiente para la producción de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) con altas densidades de siembra; sin embargo, los riesgos y las pérdidas económicas son grandes cuando no se tiene total control del sistema; es por esto que se debe realizar un monitoreo constante de los parámetros fisicoquímicos del agua para que estos se encuentren dentro de las franjas óptimas.

Uno de los problemas presentados en el estudio realizado sobre el sistema de recirculación acuícola es la baja conversión de amonio a nitrato; esto se debe principalmente a que el reactor nitrificante estaba en su fase de arranque o adaptabilidad microbiana, lo que genera que las eficiencias sean bajas.

Los resultados obtenidos en el estudio permiten que se alcanza una mayor concentración y disponibilidad de oxígeno a lo largo de todo el ciclo productivo cuando se realizan recambios periódicos; además estos recambios permiten la salida de fosfato del sistema y por ende la concentración de este disminuye dentro del estanque de producción.

Es importante que se realice un monitoreo constante del agua utilizada para el arranque del sistema y la utilizada en los recambios a lo largo del ciclo productivo; esto para evitar problemas de contaminación dentro del sistema de recirculación acuícola.

---

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a don Rodrigo Ordoñez y familia, propietarios de la estación piscícola Yamboró por facilitar materiales, insumos e información para el desarrollo del estudio. A la ingeniera Nelly María Méndez por liderar los procesos de investigación en la UNAD, CCAV – Pitalito.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bautista, J. y Ruíz-Velazco, J. M.; (2011). Calidad de agua para el cultivo de tilapia en tanques de geomembrana. *Revista Fuente*, 3(8), 10-14. **<https://n9.cl/kmlwx>**

Bregnballe, J. (2010). *A guide to recirculation aquaculture: an introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems*. Eurofish/FAO Subregional Office for Central and Eastern Europe.

Boyd, C. E. (1998). *Water quality for pond aquaculture*. AURBN.

Carvajal-Echeverri, J. P. (2014). *Comparación de Parámetros zootécnicos y de calidad de agua de tres sistemas de precría de tilapia roja (Oreochromis sp.) en el Municipio de Puerto Triunfo* [Tesis de doctorado]. Corporación Universitaria Lasallista. **<https://n9.cl/s0ov7>**

Chaux, G. y Fernández, J. E. (2013). Tratamiento de efluentes piscícolas (tilapia roja) en lagunas con azolla pinnata. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2), 46-56.

Chen, S., Ling, J. y Blanceton, J. (2006). Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. *Aquacultural engineering*, 34(3), 179-197. **<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.09.004>**

Eding, E., Kamstra, A., Verreth, J., Huisman, E. y Klapwijk, A. (2006). Design and operation of nitrifying trickling filters in recirculating aquaculture: A review. *Aquacultural engineering*, 34(3), 234-260. **<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.09.007>**

Egna, H. S. y Boyd, C. E. (1997). *Dynamics of pond aquaculture*. CRC Press.

FAO. (1978). *Programa para la Formación de Acuicultores en el Centro Regional Latinoamericano de Acuicultura*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. **<http://www.fao.org/3/l8156s/l8156s00.htm>**

FAO. (2016). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. **<http://www.fao.org/3/i5555s/i5555s.pdf>**

Hernández-Barraza, C. A., Trejo-Martínez, A. B., Loredó-Osti, J. y Gutiérrez-Salazar, G. (2016). Evaluación de la eficiencia productiva de tres líneas de tilapia con reversión sexual en un sistema de recirculación (RAS). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44(4), 869-874.

IDEAM, (2019). Reporte de información climatológica estación Sevilla – Pitalito, Geoportal.

Martínez, M. A. S. (2006). *Manejo del cultivo de tilapia*. USAID, CIDEA, University of Hawai'i at Hilo.

Masser, M. P., Rakocy, J. y Losordo, T. M. (1999). Recirculating aquaculture tank production systems. Management of recirculating systems. *SRAC Publication*, 452, 1-6.

Mühlhauser, H. A. y Vila, I. R. M. A. (1987) Eutrofización, impacto en un ecosistema acuático montañoso. *Arch. Biol. Med. Exp*, 20, 117-124. <https://n9.cl/2389>

Sánchez, A. I., Burbano, A., Revelo, D. M., García, R. y Guerrero, C. (2013). Eficiencia de Consorcios Microbianos para tratamiento de aguas residuales en un sistema de recirculación acuícola. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 245-254. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/bioteologia/article/view/279/478>

Solís, M. (2003). La acuicultura y sus efectos en el medio ambiente. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo*, 2(3), 61-80. <https://doi.org/10.31644/IMASD.3.2013.a04>

Suhr, K. I. y Pedersen, P. B. (2010). Nitrification in moving bed and fixed bed biofilters treating effluent water from a large commercial outdoor rainbow trout RAS. *Aquacultural engineering*, 42(1), 31-37. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2009.10.001>

Timmons, M. B., Holder, J. L. y Ebeling, J. M. (2006). Application of microbead biological filters. *Aquacultural engineering*, 34(3), 332-343. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.07.003>

Timmons, M. B., Ebeling, J. M. y Piedrahita, R. H. (2009). *Acuicultura en sistemas de recirculación*. Cayuga Aqua Ventures.

## 2.3 CALIDAD DEL SUELO EN CULTIVOS DE COFFEA ARABICA L. VAR. CATURRA, EN TRATAMIENTOS DE FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y CONVENCIONAL EN PITALITO, HUILA

---

Oscar Eduardo Valbuena Calderón

Ingeniero Agrónomo con Licenciatura en Ciencias Agrícolas. Docente, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Huila, Colombia. Especialista en Ingeniería Ambiental. Magíster en Sistemas Sostenibles de Producción. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Colombia

oscar.valbuena@unad.edu.co

Milton Alexander Pérez Pérez

Egresado programa de Agronomía, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Huila, Colombia.

miltonalexander18@hotmail.com

Iván Rene Ortiz Molina

Egresado programa de Agronomía, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Huila, Colombia.

ivanormo@hotmail.com

---

### RESUMEN

La calidad del suelo es uno de los factores determinantes en la sostenibilidad de los sistemas de producción, permitiendo identificar su vulnerabilidad o potencialidad frente a un equilibrio con enfoque de productividad; sin embargo, es un tema poco evaluado para el sector cafetero de Colombia, el cual involucra de manera directa a más de 500 mil familias. El objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad del suelo a través del Índice de calidad de suelo aditivo (ICSA) en diferentes tratamientos de fertilización en un cultivo de café (*coffea arabica* L.) variedad Caturra en el Sur del Huila. El estudio fue realizado durante el año 2015, con un diseño de bloques al azar (DBA) de dos tratamientos, un testigo y cinco repeticiones, donde un análisis de varianza

(ANAVA) fue realizado con Infostat versión estudiantil 2014, con separación de medias mediante prueba *Least Statistical Difference* (LSD) Fisher ( $P < 0.05$ ) a cada una de las variables analizadas, para luego obtener un conjunto mínimo de datos (CMD) mediante análisis multivariado (MANAVA) de análisis de componentes principales (ACP). El ICSPA fue obtenido a partir de la adición de todos los indicadores de calidad de suelo (ICS), teniendo en cuenta que a mayor valor de ICSPA más alta es la calidad del suelo del sistema. Las variables seleccionadas fueron arena, arcilla, carbono orgánico (C.O.), P, Ca, Mg, bases totales (BT) y Ca/Mg, obteniendo un ICSPA mayor para los tratamientos orgánico y convencional; sin embargo, no se encontraron diferencias en el nivel de valoración de calidad de suelo en los tratamientos.

**Palabras clave:** *índice de calidad de suelo aditivo, café, conjunto mínimo de datos.*

## ABSTRACT

Soil quality is among the determinant factors of production systems sustainability, allowing to identify its vulnerability or potentiality facing harmony focused on productivity. However, it has not been evaluated with enough effort for the coffee production sector in Colombia, which involves directly more than 500 thousand. This study aimed to establish the Additive Soil Quality Index (ASQI) in different treatments of organic and conventional fertilization on coffee (*Coffea arabica* L.) variety Caturra in a demonstration farm in Pitalito Huila. The study was conducted during 2015 with a Randomized Complete Block Design (RCBD) in two treatments, one witness and five replications, where an analysis of variance (ANOVA) was conducted using the student version of Infostat 2014; also, mean separation was performed using Least Statistical Difference (LSD) Fisher test ( $P < 0.05$ ) to both physical and chemical variables, in order to obtain a Minimum Data Set (MDS) through Multivariate Analysis (MANOVA) of Principal Components (PCA). The ASQI was obtained by adding each Soil Quality Indicator (SQI), considering that a higher value represents a better soil quality. Selected physical variables were sand, clay and chemicals, organic carbon (OC), Phosphorous, Calcium, Magnesium, total bases (TB) and Calcium/Magnesium ratio, where a higher ASQI value was found for both organic and conventional management. However, no difference was found among the soil quality range values for any of the treatments.

**Keywords:** *additive soil quality index, coffee, minimum data set.*

## INTRODUCCIÓN

Entre el 2008 y el 2012, el área con cafetales establecidos en Pitalito pasó de 11 725 a 15 477, marcando un aumento del 32 % y ocupando el puesto de mayor productor a nivel nacional, con tendencia a incrementar (FNC, 2013a). Este auge obedece al uso de tecnologías de producción recomendadas por la Federación Nacional de Cafeteros para la producción de café (*coffea arabica* L.), lo cual busca incrementar el rendimiento por hectárea.

Sin embargo, aunque las cifras siguen en aumento, la implementación de sistemas tecnificados con tecnologías intensivas de producción ha generado también impactos negativos, debido a que en la mayor parte de las zonas productoras se manejan cultivos sin sombra de manera frecuente, exponiendo el suelo a factores erosivos del ambiente (Sadeghian, 2010a). La tendencia a desbalancear los suelos por estas tecnologías, disminuye la calidad del suelo, puesto que afecta negativamente sus propiedades en el mediano y largo plazo (FNC, 2013a), especialmente por la fragilidad de los ecosistemas, puesto que las plantaciones de café están ubicadas en la cuenca alta del río Magdalena (Macizo Colombiano - Reserva de la Biósfera y catalogado como un Zona Estratégica del planeta).

Dentro de las principales características físicas y químicas afectadas, algunas de largo, corto y mediano plazo, se encuentran la compactación, acidificación, y pérdida de materia orgánica (Sadeghian, 2010a), originando la disminución de coloides en el suelo, baja capacidad de intercambio catiónico y baja disponibilidad de nutrientes esenciales para el aprovechamiento de las plantas; disminuyendo de esta manera el rendimiento de producción por hectárea de café, lo cual plantea un sistema productivo insostenible en el mediano plazo.

Teniendo en cuenta políticas internacionales, como garantizar la sostenibilidad ambiental (Objetivo del Milenio 7); nacionales gubernamentales, como la Locomotora Biodiversidad, y no gubernamentales (iniciativas de ONG), privadas gremiales y sectoriales, y en concordancia las políticas regionales de Huila Competitivo y locales para el municipio de Pitalito (café, impulso Laboyano), se encuentran concebidos los conceptos de sostenibilidad de los sistemas de producción del sector primario y extractivo, especialmente el recurso suelo, por su alta importancia en términos de funciones para operatividad en los sistemas de producción agrícola, en este caso el cultivo de café.

Debido a que el municipio de Pitalito es el mayor productor de café en Colombia (FNC, 2013a), en donde más de quince mil (15 000) familias dependen económicamente de manera directa de este cultivo, es imperativo realizar investigaciones que permitan garantizar la sostenibilidad de los sistemas de producción cafetalero, pues se generará un impacto positivo a nivel ambiental y económico. Al evaluar la calidad de suelo entre dos tratamientos de fertilización para cultivos de café, se dará respuesta a sectores como instituciones, academia, técnico, científico y productivo; para identificar las prácticas que puedan garantizar la sostenibilidad de los suelos.

Es así que en esta investigación el propósito fue evaluar la calidad del suelo a través del Índice de calidad de suelo aditivo (ICSA) en diferentes tratamientos de fertilización en cultivos de café (*coffea arabica* L.) variedad Caturra.

---

## MATERIALES Y MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDIO Y DESARROLLO DE LOS TRATAMIENTOS

En un lote con cultivo café (*coffea arabica* L.) var. Caturra, se establecieron dos tratamientos de manejo dada la importancia económica de este cultivo en los últimos años en el municipio de Pitalito-Huila, ubicado en el sur de Colombia. Los tratamientos con manejo intensivo (Intensivo), referido a la implementada de forma generalizada y recomendada por la Federación Nacional de Cafeteros (FNC), que incluyen plantaciones con siembras intensivas (densidad superior a 5 000 árboles por/ ha) a libre exposición, con aplicaciones de fertilizantes inorgánicos con elementos mayores y menores (por lo menos tres aplicaciones al año de Urea, fosfato diamónico [DAP] y cloruro de potasio [KCl]), en estos suelos huilenses y cafeteros por excelencia, constituyen un recurso natural compuesto por minerales, órganos de plantas y animales en diferentes estados de alteración, agua, oxígeno y otros gases (FNC y Cenicafé, 2013b), son sometidos a análisis físicos y químicos para obtener indicadores de calidad de suelo que determinen un estudio para las nuevas generaciones de cafeteros en el municipio de Pitalito, primer productor de café en el país pero a la vez uno de los mayores contaminadores de este recurso.

## VARIABLES QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL SUELO

En cada lote se tomó una muestra compuesta hasta una profundidad de 30 cm donde se realizaron las siguientes determinaciones químicas: pH (relación suelo: agua de 1:1), acidez, aluminio e hidrógeno intercambiable por método de titulación, materia orgánica (MO) (perdida por ignición), carbono orgánico (volumetría), fósforo asimilable (Bray II modificado), potasio, calcio y magnesio (Acetato de amonio 1N y neutro), capacidad de intercambio catiónico (acetato de amonio 1N y neutro), bases totales (Ca, Mg, Na y K) y saturación de bases intercambiables (extracción con acetato de amonio 1N y neutro), nitrógeno total (Kjeldahl), acidez intercambiable (volumetría), bases totales (espectrofotometría de absorción atómica) (IGAC, 2006).

Para las variables físicas se determinaron densidad aparente mediante el método de cilindro de volumen conocido, densidad real (picnómetro), textura (Bouyoucos), resistencia (penetrómetro de mano análogo) infiltración (anillos de infiltración) (IGAC, 2006), capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), agua disponible (AD), conductividad hidráulica (CH) y punto de saturación (estimación) (Saxton y Rawls, 2004).

## ÍNDICE DE CALIDAD DE SUELO ADITIVO (ICSA) Y DISEÑO ESTADÍSTICO

Se realizaron pruebas de estadística descriptiva y análisis de separación de medias mediante la prueba de LSD Fisher ( $P < 0.05$ ) a cada una de las variables de análisis con características tanto físicas, como químicas. A partir de las aquellas que presentaron diferencias ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos.

Un análisis de componentes principales (ACP) fue corrido (D'Hose *et al.*, 2013). De acuerdo con la metodología de análisis ACP, únicamente se consideraron aquellas variables con un valor de respuesta de la variación  $\geq 1$  (Chen *et al.*, 2013; Yao *et al.*, 2013) y fueron retenidas de cada componente principal (CP) para el conjunto mínimo de datos (CMD), las variables altamente ponderadas dentro del 10 % mayor o menor del valor absoluto más alto (Andrews *et al.*, 2002; Masto *et al.*, 2008).

De acuerdo con los resultados de comparación de métodos de indexación de calidad de suelos propuestos por Andrews *et al.* (2002) y Qi *et al.* (2009) se obtuvo el CMD y se realizó el análisis mediante matriz de correlación y de esta manera se eliminaron las posibles redundancias, reteniendo el mayor número de indicadores (Yao *et al.*, 2013).

Una vez identificados los indicadores se realizaron los cálculos para establecer el índice de calidad suelo aditivo por cada tratamiento (Cerde, 2008; Delgado *et al.*, 2010; Chavarría *et al.*, 2012), de acuerdo a un análisis factorial lineal (Cerde *et al.*, 2012). La combinación de esto métodos se ha utilizado para identificar relaciones con grandes cantidades de variables y facilitar la interpretación de los resultados (Andrews *et al.*, 2002).

Para el cálculo del ICS, se tomó como referencia la metodología de valoración lineal propuesta por Andrews *et al.* (2002), donde se explica que para unos indicadores un mayor valor indica una mejor calidad y que para otros un menor valor indica una mejor calidad; por ello los indicadores se clasificaron en:

- Mayor es mejor: indicadores cuyos valores altos son considerados como buenos.
- Menor es mejor: indicadores cuyos valores bajos son considerados como buenos.

Se calculó un índice de calidad de suelo (ICS) para cada indicador de cada una de las parcelas en estudio, mediante las siguientes fórmulas:

- Mayor es mejor:  $ICS = \text{valor de cada indicador} / \text{valor más alto del indicador}$ .
- Menor es mejor:  $ICS = \text{valor más bajo del indicador} / \text{valor de cada indicador}$ .

Mediante estos planteamientos se obtuvieron valores absolutos entre 0-1, para cada indicador, obteniendo los valores más altos y más bajos reportados por cada variable. Teniendo en cuenta los límites que afectan producción del cultivo (e.g. CO >5) se considera como el valor más alto reportado, que condiciona la aplicación de materia orgánica al suelo (Sadeghian, 2010b); y así finalmente calcular el ICSA para cada una de los tratamientos en estudio.

El ICSA se obtiene mediante la suma de todos los valores de los indicadores, haciendo referencia a que entre más elevado es el valor del ICSA, se cuenta con una más alta calidad del suelo (Valbuena *et al.*, 2017). La prueba de medias y ACP se realizó utilizando el software libre R versión 3.1.2. (R Development Core Team, 2014) mediante la plataforma independiente para análisis estadísticos R Commander (Fox, 2005) basado en el paquete FactoMineR (Husson *et al.*, 2012).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se observa en la tabla 1, el análisis de varianza muestra el nivel de confianza con el cual se separan las medias por cada una de las variables, de manera independiente entre los distintos tratamientos, indicando una alta variabilidad de los datos y en todos los casos sin poder establecer diferencias significativas de manera individual.

Esto es consecuente a lo reportado por Valbuena *et al.* (2017), en donde se encontró que, al realizar un análisis individual, las variables no necesariamente son indicadores de calidad del suelo o pueden aportar algún indicio de diferenciación de calidades, especialmente en la misma región geográfica o, en este caso, en el mismo lote. Sin embargo, al momento de convertirse en conglomerados de información, a través de la conformación de los indicadores e índices, estas brindan una ventaja significativa para establecer las condiciones de calidad del suelo.

Otro valor importante, según lo reportado por Qi *et al.* (2009) es la consolidación de un objetivo de calidad que permite direccionar la indicación de cada variable o del conjunto de variables, por lo cual fue necesario utilizar la tabla de calificación desarrollada por Valbuena *et al.* (2017), en donde mediante revisión bibliográfica se establecieron los ideales de producción del cultivo de café en Colombia y se relacionaron las variables que aparecían como limitante para este objetivo.

**TABLA 1A.** Promedios de los indicadores físicos y químicos de suelos

Variable	Unidad	ORGÁNICO				ORGÁNICO-MINERAL				QUÍMICO				p-value
		Media	±	E.E.	A	Media	±	E.E.	A	Media	±	E.E.	A	
<b>FÍSICAS</b>														
Arenas	(%)	38,03	±	2,66	A	41,48	±	2,98	A	38,54	±	2,66	A	0,6670
Limos	(%)	23,2	±	1,63	A	26,46	±	1,83	A	24,69	±	1,63	A	0,4397
Arcillas	(%)	38,77	±	2,75	A	32,06	±	3,08	A	36,77	±	2,75	A	0,2960
AD	(cm3 agua/cm3 suelo)	0,13	±	0,01	B	0,11	±	0,01	A	0,11	±	0,01	AB	0,1201
CH	(cm/hr)	0,26	±	0,05	A	0,33	±	0,05	A	0,26	±	0,05	A	0,4045
ST	(cm3 agua/cm3 suelo)	0,51	±	0,01	A	0,48	±	0,01	A	0,5	±	0,01	A	0,2862
CC	(cm3 agua/cm3 suelo)	0,34	±	0,03	A	0,29	±	0,04	A	0,35	±	0,03	A	0,4135
PM	(cm3 agua/cm3 suelo)	0,21	±	0,03	A	0,18	±	0,03	A	0,23	±	0,03	A	0,4413
Rpenent.	(Mpascales)	1,56	±	0,11	AB	1,47	±	0,12	A	1,85	±	0,11	B	0,0882
V. Infiltr.	(mm/h)	410,4	±	91,88	A	609	±	102,73	A	654	±	91,9	A	0,1875
DA	g/cm3	1,22	±	0,05	A	1,09	±	0,05	A	1,19	±	0,05	A	0,1855
DR	g/cm3	2,42	±	0,15	B	2,13	±	0,17	AB	1,89	±	0,15	A	0,1000

**TABLA 1B.** Promedios de los indicadores físicos y químicos de suelos

Variable	Unidad	ORGÁNICO			ORGÁNICO-MINERAL			QUÍMICO			p-value			
		Media	±	E.E.	A	Media	±	E.E.	A	Media		±	E.E.	A
<b>QUÍMICAS</b>														
pH	Und	3,74	±	0,08	A	3,98	±	0,09	A	3,98	±	0,08	A	0,1343
Aclnter	(meq/100g)	4,53	±	0,33	A	4,16	±	0,37	A	4,17	±	0,33	A	0,6714
CO	%	1,38	±	0,12	A	1,62	±	0,14	A	1,43	±	1,12	A	0,4534
MO	%	16,02	±	1,26	A	20,2	±	1,4	B	17,18	±	1,26	AB	0,1222
CIC	(meq/100g)	26,97	±	1,61	A	28,67	±	1,80	A	25,41	±	1,61	A	0,4317
P	(mg/Kg M.S)	1,77	±	0,07	A	1,66	±	0,08	A	1,69	±	0,07	A	0,5382
N	%	1,08	±	0,07	A	1,22	±	0,08	A	1,05	±	0,07	A	0,3235
Ca	(meq/100g)	0,95	±	0,21	A	0,98	±	0,23	A	1,03	±	0,21	A	0,9568
Mg	(meq/100g)	0,18	±	0,06	A	0,17	±	0,06	A	0,17	±	0,06	A	0,9813
K	(meq/100g)	0,48	±	0,09	A	0,29	±	0,10	A	0,23	±	0,09	A	0,1707
Na	(meq/100g)	0,43	±	0,45	A	0,46	±	0,50	A	0,59	±	45,0	A	0,9663
BT	(meq/100g)	29,09	±	1,98	A	30,70	±	2,22	A	27,96	±	1,98	A	0,6645
Ca/Mg	%	3,04	±	0,79	A	3,48	±	0,89	A	4,62	±	0,79	A	0,3832
Mg/K	%	0,58	±	0,18	A	0,58	±	0,20	A	0,72	±	0,18	A	0,8263
Ca/K	%	3,04	±	0,79	A	3,48	±	0,89	A	4,62	±	0,79	A	0,3832
(Ca+Mg)/K	%	3,64	±	0,97	A	4,05	±	1,08	A	5,38	±	0,97	A	0,4434
Sat. Bases	%	85,69	±	1,30	A	86,05	±	1,45	A	86,44	±	1,30	A	0,9212
Sat. Na Int	%	0,01	±	0,01	A	0,02	±	0,02	A	0,02	±	0,01	A	0,9764
Sat. Al Int	%	69,94	±	5,03	A	68,4	±	5,63	A	69,12	±	5,03	A	0,9792

PMP: punto marchitez permanente, CC: capacidad de campo, PS: punto de saturación, AD: agua disponible, CH: conductividad hidráulica, RP: resistencia a la penetración, V. Infil: Velocidad de Infiltración, DA: densidad aparente, Aclnter: acidez intercambiable, Ca: calcio, Mg: magnesio, K: Potasio, Na: Sodio, BT: bases totales, CIC: capacidad de intercambio catiónico, P: fosforo, CO: carbono orgánico, MO: materia orgánica, N: nitrógeno, Sat. Bases: saturación de bases.

**Fuente:** Valbuena *et al.* (2017).

Como se observa en la tabla 2, compuesta por la descripción de indicadores de calidad del suelo con enfoque en el objetivo de producción, las variables identificadas dentro del CMD corresponden a arena y arcilla como variables físicas, y las variables Ca, Mg y Ca/Mg dentro del ámbito químico. Estas variables en conjunto son las que mejor representan los arreglos de características de suelo que mejor permiten el desarrollo del cultivo en términos de producción y que por tanto se convierten en indicadores de calidad de suelos.

A diferencia de lo reportado por Valbuena *et al.* (2017), se incluyen las variables físicas como indicadores de calidad del suelo, al igual que la variable de relación Ca/Mg. Esto puede indicar que dependiendo del sistema productivo o de las condiciones agroecológicas del sitio en donde se desarrolle la actividad, sin contar las condiciones técnicas como la variedad establecida, pueden influir de manera directa sobre el conglomerado de variables aptas para establecer el conjunto mínimo de datos a ser proyectado como base para el cálculo del ICSA.

**TABLA 2.** Resultados de análisis de componentes principales de indicadores de calidad de suelo

INDICADOR	OBJETIVO CALIDAD DE SUELOS (PRODUCCIÓN)	T- QUÍMICO		T- ORGÁNICO		T- ORGÁNICO MINERAL	
		MEDIA	VALOR	MEDIA	VALOR	MEDIA	VALOR
<b>QUÍMICOS</b>							
C.O.	Valor máximo encontrado en suelos de la región es 5 % (Carvajal <i>et al.</i> , 2009)	16,02	1	17,18	1	20,2	1
P	El máximo es 30 ppm (Sadeghian, 2008)	1,77	0,06	1,69	0,06	1,66	0,06
Ca*	Valor máximo adecuado para café con $5 < \text{pH} \leq 5,5$ , reportado por CENICAFÉ de 3 (Sadeghian, 2008)	0,95	0,32	1,03	0,34	0,98	0,33
Mg*	Valor mínimo reportado por CENICAFÉ 0,9 meq/100 g (Sadeghian, 2008)	0,18	0,20	0,17	0,19	0,17	0,19
BT	Valor de suelos con fertilidad alta = 25	29,09	1	27,96	1	30,7	1
Ca/Mg*	Valor reportado para Pitalito por Salamanca y Sadeghian (2005) es 3,9	3,04	0,78	4,62	1	3,48	0,89
<b>FÍSICOS</b>							
Arena*	Valor reportado para Pitalito por Salamanca y Sadeghian (2005) es 31,86	30,03	0,94	38,54	1	41,48	1
Arcilla*	El valor reportado para Pitalito por Salamanca y Sadeghian (2005) es 35,62	38,77	1	36,77	1	32,06	0,90

\*Valores llevados a 1 directamente porque los valores reportados eran menores a los resultados del análisis de muestras para este estudio.

Fuente: Valbuena *et al.* (2017).

La tabla 3, muestra cómo las variables identificadas a través del análisis multivariado de componentes principales (ACP), son convertidas a indicadores, mediante la transformación de los datos en valores absolutos, siendo 1, el valor que más beneficia el cumplimiento del objetivo de producción y 0, lo opuesto. Además de esto, se presenta la sumatoria de indicadores dando origen al índice de calidad de suelo aditivo, en donde, aunque se observa una diferencia cuantitativa entre los tres tratamientos.

**TABLA 3.** Interpretación del índice de calidad obtenido de indicadores de calidad de suelos

INDICADOR	T- QUÍMICA	T- ORGÁNICO	T- ORGÁNICO MI- NERAL
	ÍNDICE	ÍNDICE	ÍNDICE
<b>QUÍMICOS</b>			
C.O.	1	1	1
P	0,06	0,06	0,06
Ca*	0,32	0,34	0,33
Mg*	0,2	0,19	0,19
BT	1	1	1
Ca/Mg*	0,78	1	0,89
<b>FÍSICOS</b>			
Arena*	0,94	1	1
Arcilla*	1	1	0,9
ICSA	5,3	5,6	5,4

Fuente: Valbuena *et al.* (2017).

Se observó una diferencia significativa entre los indicadores físicos y químicos del suelo en función de los tratamientos de manejo identificados para este estudio, puesto que, una vez analizados los datos, tanto por técnica estadística univariada como multivariada, se encontraron valores medios distintos para cada indicador con confiabilidad del 95 %. Mediante análisis multivariado de ACP y la matriz de correlación se definió un CMD con los ocho indicadores más representativos de la calidad del suelo, en función del objetivo de producción identificado como parámetro de medición para este estudio.

Se estableció una tabla de valores con base en los umbrales, mínimos y máximos de los ocho indicadores de calidad del suelo, de manera que reflejaran aquellos limitantes de la producción en el cultivo y sirvieran como referencia para transformar los datos de variables a indicadores en escala 0-1. Los indicadores más representativos fueron BT y CO respectivamente, los cuales reflejan condiciones del potencial de fertilidad de un suelo.

Como se muestra en la tabla 4, el ICSA calculado demostró que existe diferencia significativa entre el tratamiento intensivo y tradicional con confiabilidad del 95 %, al igual se evidenció la diferencia mediante calificación por rangos de los valores obtenidos como alta calidad y muy alta Calidad respectivamente. En este estudio se propuso una tabla de interpretación de resultados del ICSA, de manera que se pueda ofrecer datos fácilmente transferibles acerca de la calidad del suelo analizado y se pueda comparar igualmente dos o más conjuntos de prácticas realizadas en un agroecosistema de café.

**TABLA 4.** Interpretación del índice de calidad obtenido de indicadores de calidad de suelos

Índice de calidad de suelo	Escala	Clase
Muy alta calidad	6,40 - 8,00	1
Alta calidad	4,80 - 6,39	2
Moderada calidad	3,20 - 4,79	3
Baja calidad	1,60 - 3,19	4
Muy baja calidad	0,00 - 1,59	5

Fuente: Valbuena *et al.* (2017).

## CONCLUSIONES

Los ocho indicadores seleccionados en el CMD corresponden al análisis MANOVA mediante ACP y matriz de correlación, asegurando con alto nivel de confianza que los datos no son redundantes y sí representativos de la calidad del suelo evaluado, soportando los ICSA calculados.

Los niveles de fertilización en cada uno de los tratamientos (T- orgánica, T- química y T- orgánico mineral) no presentaron diferencias significativas a través de la evaluación de los indicadores en función del objetivo de rendimiento (Kg CPS Ha<sup>-1</sup>), al establecer que, tanto los valores medios analizados mediante el análisis estadístico como la calificación del ICSA, fueron similares.

Los índices de calidad de suelo propuestos en el estudio presentaron un comportamiento similar a lo reportado por otros autores, realizando un análisis con la tabla CMD, en la cual se analizan ocho indicadores que son los más representativos de la calidad de suelo para el cultivo de café. Por lo tanto, se realiza la validación

de los índices de calidad con el ICSA la cual nos indica que las diferencias entre T- orgánica, T- química y T- orgánico mineral son muy pocas; ya que se encuentran dentro del mismo rango de calidad de suelo teniendo como referencia la tabla de interpretación de calidad de suelo.

Los resultados encontrados corresponden a la hipótesis del estudio en donde se planteó que los indicadores e índices en cuestión eran adecuados para la valoración de la calidad de los suelos en cultivos de *coffea arabica* L. var. Caturra, por tanto, se proponen como una metodología válida para la estimación de la calidad del suelo en la región.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrews, S. S., Karlen, D. L. y Mitchel, J. P. (2002). A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 90(1), 25-45. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00174-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00174-8)

Carvajal, A., Feijoo, A., Quintero, H. y Rondón, M. (2009). Carbono Orgánico del Suelo en diferentes usos del terreno de paisajes andinos colombianos. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 9(3), 222 – 235.

Centro Nacional en Investigación en Café. (2014). *Informe anual 2014 CENICAFE. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia*. Fondo Nacional del Café. Colombia.

Cerda, R. (2008). *Calidad de los suelos en plantaciones de cacao (Theobroma cacao L.), banano (Musa AAA) y plátano (Musa AAB) en el valle de Talamanca, Costa Rica* [Tesis de maestría]. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/4067>

Cerda, R., Somarriba, E., Tapia, A., Peña, W. y Crozier, J. (2012, 8-10 de noviembre). *Assessment of soil quality in agroforestry systems* [Ponencia]. VII Congreso Latinoamericano de Sistemas Agroforestales para a Produção Pecuária Sustentável. Belem do Pará, Brasil.

Chavarría, N., Tapia, A., Soto, G. y Virginio, E. (2012). Efecto de diferentes sistemas de manejo sobre la calidad del suelo, en fincas cafetaleras de la zona de Turrialba y Orosi. *Intersedes*, 13(26), 85-105.

Chen, Y. D., Wang, H. Y., Zhou, J. M., Xing, L., Zhu, B. S., Zhao, Y. C. y Chen, X. Q. (2013). Minimum Data Set for Assessing Soil Quality in Farmland of Northeast China. *Pedosphere*, 23(5), 564-576. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(13\)60050-8](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(13)60050-8)

Delgado, E., Trejos, J., Villalobos, M., Martínez, G., Lobo, D., Rey, J. C., Rodríguez, G., Rosales, E. y Pocasangre, L. E. (2010). Determinación de un índice y salud de suelos para plantaciones bananeras en Venezuela. *Interciencia*, 35(12), 927 – 933.

D'Hose, T., Cougnon, M., De Vlieghe, A., Vandecasteele, B., Viaene, N., Cornelis, W., Bockstaele, E. y Reheul, D. (2013). The positive relationship between soil quality and crop production: A case study on the effect of farm compost application. *Applied Soil Ecology*, 75, 198-198. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.11.013>

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC). (2013a). *Comportamiento de la industria cafetera colombiana*. Bogotá: FNC.

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC) y Centro Nacional en Investigación en Café (Cenicafé). (2013b). *Manual del cafetero colombiano Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura*. FNC-Cenicafé.

Fox, J. (2005). The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R. *Journal of Statistical Software*, 14(9),1-42. <http://dx.doi.org/10.18637/jss.v014.i09>

Husson, F., Josse, J., Le, S. y Mazet, J. (2012). *FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining*. <http://CRAN.R-project.org/package=FactoMineR>.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2006). *Métodos analíticos del laboratorio de suelos*. IGAC.

Masto, R.E., Chhonkar, P.K., Purakayastha, T.J., Patra, A.K. y Singh, D. (2008), Soil quality indices for evaluation of long-term land use and soil management practices in semi-arid sub-tropical India. *Land Degradation & Development*, 19(5), 516-529. <https://doi.org/10.1002/ldr.857>

Paz-Kagan, T., Shachak, M., Zaady, E. y Karnieli, A. (2014a). A spectral soil quality index (SSQI) for characterizing soil function in areas of changed land use. *Geoderma*, 230,171-184.

Paz-Kagan, T., Shachak, M., Zaady, E. y Karnieli, A. (2014b). Evaluation of ecosystem responses to land-use change using soil quality and primary productivity in a semi-arid area, Israel. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *193*, 9-24.

Qi, Y., Darilek, J., Huang, B., Zhao, Y., Sun, W. y Gu, Z. (2009). Evaluating Soil Quality Indices in an Agricultural Region of Jiangsu Province, China. *Geoderma*, *149*(3-2), 325-334. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.12.015>

R Development Core Team. (2014). R: A language and environment for statistical computing. R. Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>.

Sadeghian, S. (2008). *Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia*. Cenicafé.

Sadeghian, S. (2010a). Evaluación de la fertilidad del suelo para una adecuada nutrición de los cultivos. Caso café. *Suelos ecuatoriales*, *41*(1), 46-64.

Sadeghian, S. (2010b). *La materia orgánica: componente esencial en la sostenibilidad de los agroecosistemas cafeteros*. Cenicafé.

Saxton, K. E. y Rawls, W. (2004). Soil texture triangle: Hydraulic properties calculator. <http://hydrolab.arsusda.gov/soilwater/Index.htm>.

Valbuena-Calderón, O. E., Rodríguez-Pérez, W.V. y Suárez-Salazar, J. C. (2017). Calidad de suelos bajo dos esquemas de manejo en fincas cafeteras del sur de Colombia. *Agromía mesoamericana*, *28*(1), 131-140.

Yao, R., Yang, J., Gao, P., Zhang, J. y Jin, W. (2013). Determining minimum data set for soil quality assessment of typical salt-affected farmland in the coastal reclamation area. *Soil and Tillage Research*, *128*, 137-148. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.11.007>

## 2.4 RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TAZA EN AGROECOSISTEMAS DE COFFEA ARABICA L. VARIEDAD CATURRA DE ZONA ANDINA CON DIFERENTES NIVELES DE CALIDAD DE SUELO

---

Oscar Eduardo Valbuena Calderón

Ingeniero Agrónomo con Licenciatura en Ciencias Agrícolas. Docente, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Huila, Colombia. Especialista en Ingeniería Ambiental. Magíster en Sistemas Sostenibles de Producción. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Colombia

oscar.valbuena@unad.edu.co

Nelly María Méndez Pedroza

Doctora en Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Huila, Colombia. Líder ECAPMA ZSUR – Directora Grupo de Investigación INYUMACIZO

nelly.mendez@unad.edu.co

Paola Andrea Paladinez

Egresada del programa de Agronomía, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito Huila Colombia.

paolapaladinez@hotmail.com

Leydy Carolina Chilito

Egresada del programa de Agronomía, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Huila, Colombia.

karo-ch@hotmail.com

---

### RESUMEN

La producción de café en términos de rendimiento es una variable considerada como de gran importancia; sin embargo, el mercado de cafés especiales se ha convertido en una tendencia mundial, planteando retos colectivos e individuales para incrementar la calidad de taza. El estudio se desarrolló en la zona cafetera del municipio de Pitalito (H), entre los 1500 y 1600 m.s.n.m., debido a la alta relevancia económica, social y

ambiental que se presenta por ser el mayor productor del grano en Colombia, lo cual tiene una relación directa sobre la oferta del producto para mantener la competitividad productiva del país, la incorporación en los mercados de cafés especiales, el sostenimiento de más de 17 000 familias y la amplia dependencia y aprovechamiento de los recursos naturales sobre la cuenca alta del río Magdalena. Se realizó un análisis univariado en el programa Infostat 2016, para comparar 3 tratamientos de fertilización, en donde se identificaron distintas calidades del suelo, analizando las variables calidad física del café (factor de rendimiento), calidad de taza (análisis sensorial) y producción de café (Kg c.p.s. ha<sup>-1</sup>). Se encontró que no existe diferencia significativa entre las 2 primeras, aunque sí tienen una alta importancia económica por su representación en la actividad comercial actual; sin embargo, existe diferencia significativa en la variable producción de café, lo cual permite inferir que la calidad física y de taza del café no dependen directamente de las condiciones de tratamiento de fertilización ni de la calidad de suelo en los lotes de estudio.

**Palabras clave:** *calidad de suelo, calidad de taza, producción de café, coffea arábica.*

## ABSTRACT

Coffee yield is considered a high relevant variable; however, specialty coffees market has turned into a worldwide trend, laying out both collective and individual challenges in order to increase cup quality. The study was developed in the coffee production zone in Pitalito (H), between 1 500 and 1 600 masl, due to its economic, social and environmental importance since it is the largest coffee producer in Colombia; which has a direct relationship between supply chain to keep production competitiveness, linkage to specialty coffee market, the sustenance of more than 17 000 families, and a wide reliance and damage of natural resources over the high basin of Magdalena river. A univariate analysis was conducted using Infostat 2016, in order to compare 3 production treatments with different soil quality characteristics, where the variables Physical Coffee Quality (Yield Factor), Coffee Cup Score (Sensorial analysis - Cupping) and Coffee Production (Kg c.p.s. ha<sup>-1</sup>) were analyzed. No significant differences were found in the first two, although they do represent a major economic importance due to actual trading impact; however, significant difference was found in Coffee Production, which allow to infer that both physical and cup coffee quality do not directly depend on fertilization treatments nor soil quality conditions in the evaluated plots.

**Keywords:** *soil quality, cup quality, coffee yield, coffea arabica.*

## INTRODUCCIÓN

Entre el 2008 y el 2012, el área de producción de café aumentó el 32 % en Pitalito-Huila, convirtiéndose en el mayor productor en Colombia, principalmente por la ampliación de la frontera agrícola y al uso de tecnologías intensivas de producción (FNC, 2013). Estos sistemas tecnificados han generado impactos tanto positivos como negativos, favoreciendo la erosión del suelo (Sadeghian, 2007). Debido a esto, el desequilibrio en el balance integral del suelo es una realidad que favorece el deterioro de su calidad (Valbuena, 2014), teniendo en cuenta que se agotan las características físicas y químicas del mismo (FNC, 2011).

La compactación, aumento de acidez, y pérdida de material orgánico son notables (Sadeghian, 2007), lo cual da origen a una disminución de coloides en el suelo y por tanto baja capacidad de intercambio catiónico y disponibilidad de nutrientes necesarios para el cultivo, disminuyendo al mismo tiempo la capacidad de producción de café (c.p.s.) ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, y propone un sistema productivo no equilibrado en el mediano plazo (Qi *et al.*, 2009).

Más de 17 000 familias tienen su sustento de manera directa de este cultivo, por tanto, es necesario realizar investigaciones que permitan obtener información sobre la influencia que tienen los distintos procesos de producción y la calidad del suelo sobre factores determinantes como la calidad de taza. Al evaluar las variables aquí propuestas, en relación con los tratamientos de fertilización y de la calidad del suelo, se dará respuesta a sectores como la academia y al gremio de productores, de manera que se logre dar una identificación que conduzca a prácticas que puedan garantizar la sostenibilidad de los suelos.

Es así que se pretende evaluar el efecto de los diferentes niveles de fertilización y de calidad en suelos sobre la producción de café pergamino seco (c.p.s.) ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y la calidad de taza del café, incorporando de esta manera conceptos técnicos que permitan la toma de decisiones en los sistemas de producción de café.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se implantó en la vereda Betania del municipio de Pitalito-Huila, con una topografía ondulada, altura de 1 750 m.s.n.m. coordenadas 1°48'05.62" N 76°05'20.99" O. El municipio de Pitalito cuenta con un clima húmedo con variaciones térmicas durante todo el año, predominando un clima templado aproximadamente entre unos 18 a 21°C. Hacia la mitad del año en los meses de mayo, junio y julio se presenta un periodo húmedo moderado, alcanzando así temperaturas hasta de 12 a 14 °C.

Se utilizó un lote de 1 ha con diseño de BCA (bloques completos al azar) en donde se establecieron 3 tratamientos: T1. Orgánico con 5 repeticiones, T2. Químico con 5 repeticiones y T3. Orgánico-Mineral con 4 repeticiones, los cuales se diseñaron de estudio previo de evaluación de la calidad del suelo. Estos tratamientos son equivalentes a las 3 calidades de suelo mencionadas desde los objetivos del estudio.

Se realizaron 6 recolecciones en el periodo comprendido entre octubre del 2015 – enero del 2016, con intervalos de 3 semanas. Los datos se tomaron a partir de la recolección manual del café utilizando técnica tradicional para cosecha de producto en óptimas condiciones de maduración, según estándares de la Federación Nacional de Cafeteros. El tratamiento postcosecha fue efectuado según estándares de la misma organización, de manera que se pudiera tener un referente base para todos los tratamientos, sin que este afectara las condiciones del estudio.

En laboratorio se realizaron controles de calidad del producto mediante toma de muestras por método sensorial, a través del proceso de catación del café basados en los protocolos de la *Specialty Coffee American Association* (SCAA), y método físico a través del procedimiento para hallar el factor de rendimiento, el cual representa la relación entre el número de kg que deben maquilarse para llenar un bulto de 70 kg de café oro, es decir del café que se exporta una vez se retira el endocarpio (pergamino) del grano.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 muestra el análisis de varianza con un modelo univariado, permitiendo con la limitación de los datos obtener confiabilidad del 95 % para la diferencia entre medias, lo cual fue corroborado mediante Test LSD Fisher Alfa = 0,05. En los tres tratamientos se evidencia que no existe diferencia significativa a nivel de factor de rendimiento, debido a la escala de puntuación que se maneja en este tipo de prueba; pero es consecuente con la realidad de evaluación existente en el comercio y por tanto se analiza el resultado conforme las fórmulas que establece el mercado en estos momentos.

**TABLA 1.** ANOVA factor de rendimiento

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
FACTOR RENDIMIENTO	14	0,02	0,00	1,10

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,26	2	0,13	0,13	0,8765
TRATAMIENTO	0,26	2	0,13	0,13	0,8765
Error	10,60	11	0,96		
Total	10,86	13			

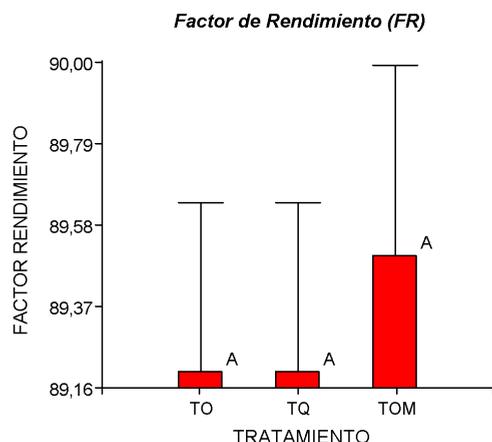
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=18,70303

Error: 5,0000 gl: 1

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
TO	89,20	5	0,44 A
TQ	89,20	5	0,44 A
TOM	89,50	4	0,49 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fuente: elaboración propia.

**FIGURA 1.** Bloques factor de rendimiento

Fuente: elaboración propia.

La figura 1 muestra que no existe diferencia significativa entre los tres tratamientos, lo cual se ve evidenciado mediante la separación por letras del mismo literal. Aunque en la escala de barras se nota una amplia diferencia entre el TOM y los demás tratamientos, esta no es significativa a nivel comercial, debido a que las escalas que se manejan para evaluar el factor de rendimiento se dan en unidades de números enteros.

Los valores obtenidos señalan que el valor de factor de rendimiento fue independiente para cada uno de los tratamientos, obteniendo una evaluación media de 88 puntos, lo cual expresa que se requieren 88 kg de café oro (trillado) para llenar un saco de 70 kg tipo exportación.

**TABLA 2.** ANOVA calidad de taza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
PUNTAJE TAZA	14	1,00	sd	0,00

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

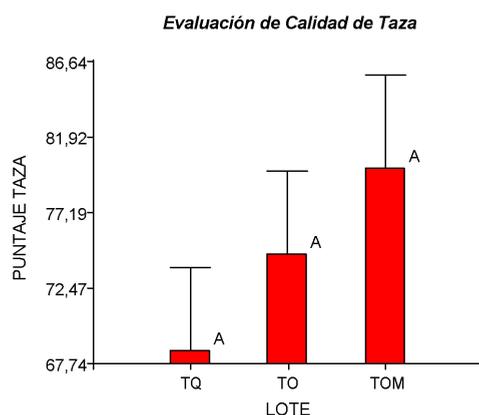
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1762,00	13	135,54	sd	sd
LOTE	1762,00	13	135,54	sd	sd
Error	0,00	0	0,00		
Total	1762,00	13			

Fuente: elaboración propia.

La tabla 2 muestra el análisis de varianza, con limitación de datos para obtener confiabilidad del 95 %; la diferencia entre promedios se realizó por Test LSD Fisher Alfa = 0,05. En los tres tratamientos se evidencia que no existe diferencia significativa en los puntajes obtenidos de calidad de taza, debido a la escala de puntuación que se maneja en este tipo de prueba; pero es consecuente con la realidad de evaluación existente en el comercio y por tanto se analiza el resultado conforme las fórmulas que establece el mercado en estos momentos.

Como se aprecia en la figura 2, la calificación de taza, realizada mediante el análisis sensorial descrito previamente y que se ajusta a la normatividad de la *Specialty Coffee American Association* (SCAA), establece, con una confiabilidad del 95 % ( $p > 0,05$ ), que no existen diferencias significativas según el Test LSD Fisher, el cual se utilizó para realizar separación entre medias e identificación mediante valores de letras. En este caso el TO obtuvo el menor puntaje con 68 puntos y el TOM el mayor con 80 puntos, siendo el TQ el tratamiento intermedio con puntaje igual a 74.

**FIGURA 2.** Bloques calidad de taza



Fuente: elaboración propia.

Lo anterior indica que, aunque existió diferencias en puntaje, no existe la representación estadística lo suficientemente fuerte como que establezca diferencias significativas entre los tratamientos, sino que los datos encontrados obedecen a una iteración aleatoria del agroecosistema. Sin embargo, se debe hacer claridad en que comercialmente cada punto tiene un valor muy alto, que es reconocido económicamente a los productores de café, por tanto, se abre un espacio para recomendaciones en el capítulo apropiado dentro de este estudio.

Cómo se muestra en la tabla 3, se realizó un análisis estadístico univariado para establecer si existen o no diferencias y su grado de significancia en cuanto a los tratamientos TO, TQ Y TOM implementados en el agroecosistema de café. En esta se muestra el total de repeticiones tomadas para cada tratamiento y la confiabilidad a través de los grados de libertad, en este caso 2, lo cual genera un límite dentro del análisis y sesgo amplio para el análisis de los datos. Sin embargo, mediante comparación de LSD Fisher ( $>0,05$ ) se pudo establecer que existen diferencias significativas entre los tratamientos de manejo productivo planteados dentro del estudio.

**TABLA 3. ANOVA rendimiento en producción de café**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
PRODUCCIÓN	14	0,72	0,67	17,42

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	117232642,86	2	58616321,43	14,27	0,0009
TRATAMIENTO	117232642,86	2	58616321,43	14,27	0,0009
Error	45199500,00	11	4109045,45		
Total	162432142,86	13			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=18,70303**

Error: 5,0000 gl: 1

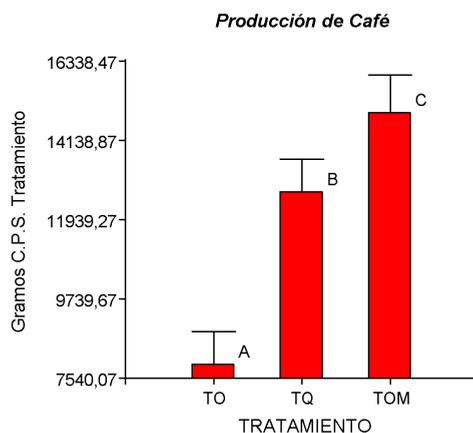
TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
TO	7940,00	5	906,54	A
TQ	12700,00	5	906,54	B
TOM	14925,00	4	1013,54	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fuente: elaboración propia.

Como se aprecia en la figura 3, mediante la separación de la prueba de Fisher se establecen letras distintas por tratamiento, indicando que existen diferencias significativas a nivel estadístico. Para el caso del TO se obtuvo un menor valor, es decir la menor cantidad de café recolectado durante el tiempo de la cosecha que comprendió el estudio, expresado en kilogramos de café pergamino seco por hectárea ( $\text{kg c.p.s. ha}^{-1}$ ). El TQ presentó el valor medio y el TOM aparece con el mayor valor de producción encontrando una diferencia de  $6\,985 \text{ kg c.p.s. ha}^{-1}$  entre el TO y el TOM, para un valor cercano al 50 % de diferencia entre los tratamientos.

**FIGURA 3.** Bloques rendimiento producción de café



Fuente: elaboración propia.

Sadeghian (2007) afirma que la calidad de los suelos referida al objetivo de producción es el indicador más utilizado para evaluar sus características en función de una variable; debido a su alto impacto a nivel económico. Por lo que encontrar diferencias significativas sobre el rendimiento en la producción de café es de gran relevancia y permite establecer criterios claros sobre la influencia que tienen las tecnologías de producción sobre esta variable, la cual sin duda es uno de los factores principales para el sostenimiento de la población beneficiaria de este proyecto, los productores.

Es necesario anotar que el TOM incluyó fertilizantes orgánico-minerales y productos de síntesis química que son implementados en la zona y que reflejan la necesidad de mantener la calidad de suelo desde un balance nutricional, pero también son reflejo del aporte que debe existir en torno a los colides del suelo, ácidos húmicos, fúlvicos, himatomelánico, entre otros, los cuales son de vital importancia para el café. También es necesario anotar que TO y TQ por sí solos no son capaces de proporcionar las condiciones necesarias para sostener la producción de café a niveles más apreciables.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se identificaron los valores de producción, factor de rendimiento y calidad de taza para cada uno de los tratamientos, en función de la calidad del suelo arrojada en cada uno de ellos, es decir a través de los tres tratamientos establecidos en un proyecto anterior. Para cada variable se indicaron tablas de medias y se realizó el análisis de diferencias entre medias para establecer significancia con nivel de confiabilidad estadísticos  $p > 0,05$ .

No se observaron diferencias significativas entre las variables factor de rendimiento calidad de taza, y los tratamientos que establecían los niveles de calidad del suelo, teniendo en cuenta que las medias según comparación de LSD Fisher no fueron significativas y por ende representadas por la misma letra; indicando así que estas dos variables son independientes de la incidencia de calidad del suelo y que surgen por procesos aleatorios en la producción de café.

Se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos de calidad del suelo y la variable producción, lo cual indica una fuerte relación entre el tipo de tecnología que se aplica en la producción y la variable más representativa para la misma, teniendo en cuenta que depende de esta en su mayoría la sostenibilidad de los sistemas que mantienen a los productores y a sus familias.

Debido a esto se establece el TOM como el tratamiento de mayor representación, capaz de brindar las mejores condiciones dentro de los límites de este estudio para garantizar una alta diferencia en términos de producción del grano, sin que las variables físicas y sensoriales del café se vean significativamente afectadas.

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para las variables de calidad; sin embargo, comercialmente los puntajes obtenidos sí tienen una incidencia económica importante, por lo cual se sugiere utilizar mayor número de repeticiones para dar más confiabilidad en los datos o proponer una escala de evaluación multivariada que incluya la variable de taza en función del precio obtenido por cada punto de la evaluación.

Por otro lado, es necesario extender el estudio a una serie repetida de años, teniendo en cuenta que la producción del café en la zona tiene un comportamiento bienal, en donde un año se produce más que el otro y esto se convierte en una fuente de variación para un futuro estudio. Además, las variables del suelo a partir del efecto de los tratamientos establecidos pueden verse afectadas a partir de 1 o más años, por lo cual el tiempo tenido en cuenta para el desarrollo de este estudio es limitado y se requiere la continuidad de los mismos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Federación Nacional de Cafeteros. (2011). *Comportamiento de la industria cafetera colombiana*. FNC.

Federación Nacional de Cafeteros. (2013). *Comportamiento de la industria cafetera colombiana*. FNC.

Qi, Y., Darilek, J. L., Huang, B., Zhao, Y., Sun, W. y Gu, Z. (2009). Evaluating Soil Quality Indices in an Agricultural Region of Jiangsu Province, China. *Geoderma*, **141**(3-4), 325-334. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.12.015>

Sadeghian, S., Salamanca, A. y Cardona, D. (2007). *Indicadores de la calidad del suelo en algunos agroecosistemas de la zona cafetera colombiana*. CENICAFE.

Valbuena, O. 2014. *Evaluación de la calidad del suelo en plantaciones de Coffea arabica L. var. Caturra, en tecnologías de producción intensiva y tradicional en Pitilito-Huila* [Tesis de grado]. Universidad de la Amazonía.

## 2.5 CAPACIDAD DE ADAPTABILIDAD DE SEIS BIOTIPOS DE LA ESPECIE *GUADUA ANGUSTIFOLIA* KUNTH EN BOSQUE HÚMEDO PREMONTANO, EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO MAGDALENA, COLOMBIA

---

Nelly María Méndez Pedroza

Doctora en Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito Huila Colombia. Líder ECAPMA ZSUR – Directora Grupo de Investigación INYUMACIZO  
nelly.mendez@unad.edu.co

William Ignacio Montealegre Torres

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

---

### RESUMEN

En la cuenca hidrográfica del río Guarapas, localizada en la parte alta del río Magdalena, hace presencia cultural y ancestral la especie natural renovable de flora silvestre no maderable *Guadua angustifolia* Kunth con sus diversos usos y manifestaciones. Sin embargo, no hace parte de la economía familiar por la falta de organización para el aprovechamiento, desconocimiento de sus servicios ambientales, sus atributos físicos y mecánicos y sus biotipos con características diferenciales. En la presente investigación se profundizó en el conocimiento de la *Guadua angustifolia* Kunth a través del estudio de sus biotipos (macana, nigra, castilla, bicolor, cebolla), considerando que la especie es una sola y su diferenciación o especialización se debe a las condiciones agroecológicas del sitio donde se desarrolla. Adicionalmente, se evaluó su adaptabilidad en vivero bajo distintas condiciones físicas y agroecológicas. Los resultados indican que de acuerdo con

las variables determinantes (crecimiento en altura y número de rebrotes), no existen diferencias significativas entre los biotipos evaluados, así como en el número de rebrotes. Esta investigación es un primer paso para continuar analizando con mayor nivel de detalle la especie, considerando que el crecimiento en altura exige primero a la planta de guadua reproducirse y generar sus rebrotes asegurando la supervivencia.

**Palabras clave:** *agroecología, rebrotes, reproducción, sostenibilidad.*

## ABSTRACT

In the Guarapa's river basin, located in the upper of the Magdalena's river, there are cultural and ancestral presence the natural and renewable specie of native plant life not timber *Guadua angustifolia* Kunth with its diverse uses and manifestation. However, it is not part from the familiar economy, due to lack of organization to use it, unknowing of environmental services, its physical and mechanic qualities and biotypes with its distinguishing characteristics.

This research was focused on knowing of the *Guadua angustifolia* Kunth through the study of biotypes (Macana, Nigra, Castilla, Bicolor, Cebolla) considering the specie is unique, and its distinguishing or specialization belongs to the agro-ecological place where its developed. Additionally, it was evaluated the adaptability in nursery under different physical conditions and agro-ecological.

The results showed that according to the decisive variables (growth in high and number of regrowths), it does not exist significatives differences between assessed biotypes, as well as the number of regrowths.

This research is the first step to continue analyzing in a deeper level of detailing the specie, considering the growth in high, first of all requires to the guadua's reproduction plant and generate its regrowth ensuring the survival.

**Keywords:** *agro-ecology, regrowth, reproduction, sustainability.*

## INTRODUCCIÓN

El grupo de investigación del macizo colombiano INYUMACIZO, ha formulado el Plan Prospectivo y estratégico para la consolidación de la cadena productiva de la guadua para la cuenca hidrográfica del río Guarapas (INYUMACIZO, 2012), afluente del río Grande de la Magdalena parte alta, sur del departamento del Huila, desde lo local a lo global. (Montealegre-Torres *et al.*, 2016). Este ejercicio ha permitido forjar un concepto claro y estratégico del plan prospectivo en una realidad fáctica, logrando definir el escenario apuesta se ha requerido el conocimiento de los biotipos de la especie *Guadua angustifolia* Kunth presentes en el territorio, partiendo de la hipótesis que establece que la guadua es una sola y las diferencias en su estructura interna y externa se derivan de las condiciones agroecológicas del sitio donde se desarrollan.

Sus diferencias son notorias y el avanzar hacia su conocimiento, requiere de estudios cada vez más especializados por biotipo, desde su reconocimiento en campo, pasando por su reproducción y realizando los estudios de propiedades físicas y mecánicas hacia la mejor utilización de los biotipos existentes en el territorio, de acuerdo con las condiciones agroecológicas específicas.

Para la realización de este estudio, se tomó como base lo planteado por Méndez-Pedroza (2015) y Cuellar-Bahamón (2016), respecto al uso futuro de terrenos sembrados en guadua en la zona sur colombiana, donde se manifiesta que se tiene como finalidad la utilización de dichos terrenos para aprovechamientos futuros, buscando la sostenibilidad del recurso y la conservación de la base genética a partir de la protección de los bancos de germoplasma en los mismos rodales.

La *Guadua angustifolia* Kunt es el bambú endémico de América y se considera como nativo de Colombia, Venezuela y Ecuador, siendo introducida a México y varios países centroamericanos. La especie es un bambú gigante, espinoso, con culmos erectos y huecos que alcanzan alturas hasta de 25 metros, diámetros entre 10 y 25 cm y entrenudos con paredes de hasta de 2 cm de espesor (Teneche, 2007).

El bambú es una planta autosostenible, de rápido crecimiento que trabaja en red. Con el bambú se pueden solucionar los problemas ambientales, sociales y económicos que afectan a un lugar, un país o una región. Colombia en diversidad de bambúes es el segundo país de América, después de Brasil, con 18 géneros, 105 especies (Londoño, 2011). Además de prestar múltiples servicios ecosistémicos como lo mencionado por (Muñoz, *et al.*, 2017), donde los aspectos mejor valorados fueron la biodiversidad, la protección del agua y del suelo, la captura de CO<sub>2</sub> y la regulación de la temperatura mediante som-

bra; respecto a captura de Carbono, (García-Soria y Del Castillo-Torres, 2015), demostró que el contenido de C total fue de 242,66 toneladas de carbono por hectárea.

De acuerdo a información secundaria, los biotipos de la *Guadua angustifolia* Kunth son la *Guadua angustifolia* variedad bicolor; *Guadua angustifolia* nigra; *Guadua angustifolia* biotipo cebolla; *Guadua angustifolia* biotipo macana; *Guadua angustifolia* biotipo castilla; *Guadua angustifolia* biotipo cotuda (Teneche, 2007).

El proyecto consta de dos etapas, de vivero y de campo. Ha requerido de la siembra en campo de los seis biotipos de la *Guadua angustifolia* Kunth, lo que permitirá abrir el camino de la investigación de los sitios apropiados para su plantación, de acuerdo a sus características propias y a las necesidades del mercado (Méndez-Pedroza, 2015).

El objetivo del ensayo ha sido evaluar la adaptabilidad de seis biotipos de la especie *Guadua angustifolia* Kunth en el Bosque Húmedo Premontano, en la cuenca hidrográfica del río Guarapas, predio Marengo, municipio de Pitalito-Huila. Para desarrollarlo, se plantearon los objetivos específicos: analizar el prendimiento de las plántulas de guadua y desarrollar un análisis descriptivo para definir diferencias significativas entre los seis biotipos de la especie *Guadua angustifolia* Kunth.

---

## MATERIALES Y MÉTODOS

El tipo de estudio se define como exploratorio descriptivo, no experimental, con enfoque cuali-cuantitativo (Ferrer, 2010), sobre trescientas unidades de *Guadua angustifolia* Kunth en la etapa de vivero y en la etapa de campo, en diseño de bloques al azar, veinticinco plantas por parcela/biotipo, dos bloques, distancia de siembra 5 x 5 metros en cuadro; donde se tomó la información a las nueve plantas centrales para evitar el error de borde.

El tiempo establecido para esta etapa fue de tres meses, a partir del 01 de noviembre de 2016. Para uniformizar el ejercicio, se sembraron cincuenta unidades de cada uno de los biotipos de *Guadua angustifolia* Kunth. La toma de información se hizo cada quince días.

No se tuvo como opción la germinación *in vitro*, dado que con los resultados obtenidos en una previa investigación (Ramírez-Correa *et al.*, 2014) se confirma que son necesarios protocolos eficientes de micropropagación, debido a la complejidad del establecimiento en el cultivo *in vitro* de *Guadua angustifolia*.

Se procedió a la siembra directa en bolsa polietileno 18 x 23, tierra negra mezclada con arena de río en proporción 1:3 y una unidad de micorriza comercial. Riego tres veces al día con agua lluvia colectada. Una vez llenadas las bolsas se ubican en áreas de un metro de ancho y con longitud apropiada para el número de plántulas. La siembra se realiza en las bolsas de polietileno, una estaca por bolsa. Los ecotipos son separados y debidamente marcados con placas azules.

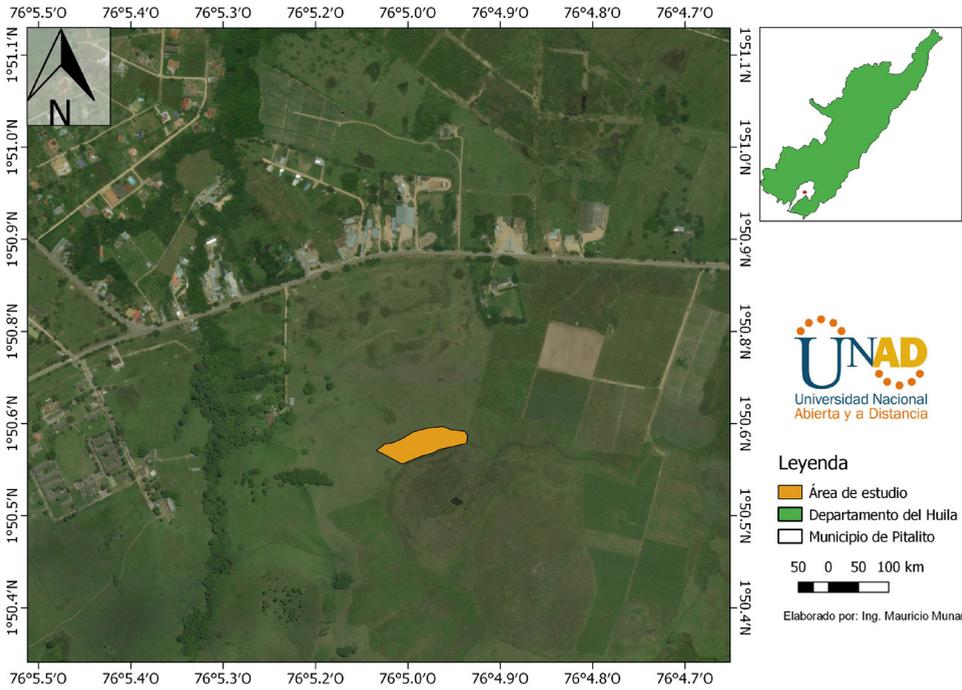
En esta etapa se realizan las mediciones de la etapa de vivero: el diámetro basal, que se toma en la base de la plántula con un pie de rey y la altura, que se toma desde la base de la plántula y hasta la yema apical con una cinta métrica. Los datos obtenidos se consignan en una planilla de campo prediseñada, índice de robustez, que, según lo expuesto por Word y Burley (1995) citados por Benavides y Mejía (2003), se calcula dividiendo la altura entre el diámetro de cada individuo; para este estudio se realiza por cada uno de los individuos seleccionados por biotipo. Se promediaron los datos para obtener el índice de robustez, procedimiento realizado para cada período.

Por otra parte, el porcentaje de sobrevivencia, según Arroyo y Ramírez (1998) citados por Benavides y Mejía (2003), es un indicador de adaptabilidad de una especie en una zona, determinado por los individuos o plantas que en su crecimiento inicial han sobrevivido o soportado las condiciones ambientales, adaptándose a los requerimientos climáticos y edáficos exigidos por la especie que le permiten un normal desarrollo vegetativo. Pero, dadas las particularidades del ensayo, en consenso entre los investigadores, se ha decidido tomar una nueva variable, como es el número de rebrotes por biotipo, que se define como el conteo de los rebrotes o nuevas plántulas que emergen del mismo nudo, por plántula sembrada.

En junio de 2017, al iniciar un periodo de lluvias, luego de meses de época seca producto del denominado fenómeno del niño, fue necesario postergar la siembra en el sitio definitivo. Una vez terminó el fenómeno del niño, emergió el fenómeno de la niña, que consiste en lluvias torrenciales, que inundan terrenos.

El predio seleccionado corresponde a la finca Marengo (figura 1) de propiedad de la Corporación Autónoma del río Magdalena (CORMAGDALENA), cedida en comodato a la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), sede administrativa de la dirección territorial sur, que comprende la jurisdicción de nueve municipios de la zona sur del Huila.

**FIGURA 1.** Distribución de las unidades de guadua en la parcela, predio Marengo, municipio de Pitalito.



Fuente: elaboración propia.

En la etapa de campo se sembraron, a distancia de cinco por cinco metros (figura 2), veinticinco plantas por parcela, por biotipo por bloque, con un bloque réplica, para un total de trescientas plantas. Se tomó la información de las nueve plantas centrales, durante doce meses, de junio de 2017 a mayo de 2018, luego de una época seca denominada fenómeno del niño y de una época húmeda denominada fenómeno de la niña.

El predio Marengo, donde se estableció la parcela, limita con la vía nacional Pitalito – Mocoa, a doscientos metros, cerca de la laguna natural Marengo. La plantación de guadua sirvió de protección y aislamiento a la laguna, la cual ya posee un proceso de reforestación con especies nativas.

Una vez seleccionado el sitio del experimento, se ha necesitado de las condiciones climáticas apropiadas, pues, debido a que en el segundo semestre de 2016 y el primer trimestre de 2017 se presentó el fenómeno del niño y de la niña, hubo que esperar a que las condiciones de humedad del suelo fueran aptas para una reforestación y no arriesgar el material vegetal por cumplir con unos tiempos – plazos.

Se realizaron procesos de alinderado, estacado y señalizado con cintas de colores respecto al biotipo a establecer y se esperó una semana de tiempo seco para iniciar las labores de hoyado y siembra.

**FIGURA 2.** *Distribución de las unidades de guadua en la parcela*

X	X	X	X	X
X	X	X	X	X
X	X	X	X	X
X	X	X	X	X
X	X	X	X	X

Fuente: elaboración propia.

Se diseñaron bloques al azar (figura 3), con parcelas cuadradas, de 25 por 25 metros, unidades de guadua sembradas a 5 x 5, para un total de 25 por biotipo, 150 por bloque, dos bloques, para un total de 300 unidades de los biotipos castilla, cotuda, macana, bicolor, nigra, cebolla. Las variables seleccionadas fueron crecimiento en altura y número de rebrotes. De las veinticinco unidades, se seleccionaron las nueve unidades de guadua del centro, para la toma de información y evitar errores de borde.

**FIGURA 3.** *Distribución en campo de los biotipos de Guadua angustifolia Kunth, por bloques al azar*

Castilla	Macana	Cebolla	Cotuda	Nigra	Bicolor
Macana	Nigra	Bicolor	Cebolla	Castilla	Cotuda

Fuente: elaboración propia.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### ETAPA VIVERO

Diámetro basal, crecimiento en promedio 0,2 centímetros, con promedio inicial de 1,15 cm. Y promedio final de 1,35. El menor 0,14 y el mayor 0,27. Diferencia no significativa.

Altura: el crecimiento en promedio alcanzó alturas de 18,5 cm, el menor 28 y el mayor 32, con crecimiento promedio diario de 0,2 cm día. Diferencia no significativa.

Mortalidad – Supervivencia: Se estableció una mortalidad promedio del 11,3 %, siendo la mayor la guadua negra con 14 % y la menor la castilla con 8 %. De 300 unidades de guadua sobrevivieron a la etapa de vivero, noventa días, 266 plántulas. Diferencia no significativa.

Índice de robustez: (tabla 1) presentó un promedio inicial de 11,0 y final de 23,0; el menor con 20,9 y el mayor con 25,2. Diferencia no significativa (Méndez y Montealegre, 2017).

**TABLA 1.** Índice de robustez de los biotipos de guadua

Biotipo	Índice de robustez		Incremento robustez
	Inicial	Final	
Bicolor	10,0	23,5	13,5
Nigra	12,7	23,0	10,2
Cotuda	10,0	22,2	12,2
Cebolla	10,0	25,2	15,2
Macana	11,7	20,9	9,2
Castilla	11,8	23,4	11,5
Subtotal	66,2	138,2	71,9
Promedio	11,0	23,0	12,0

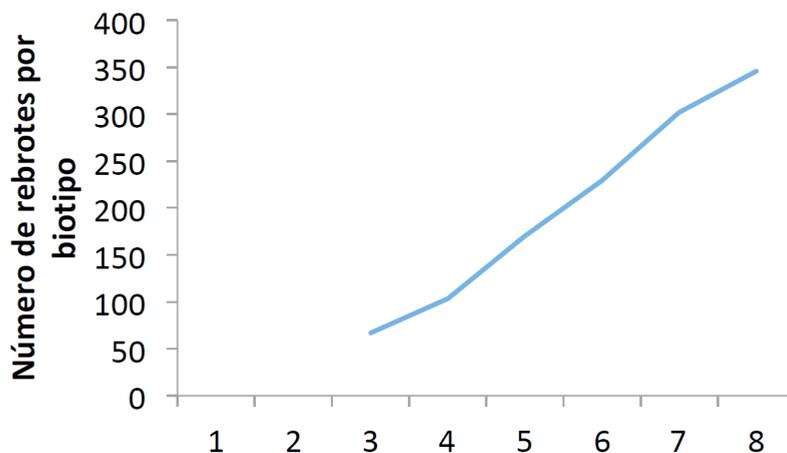
Fuente: elaboración propia.

Número de rebrotes: promedio rebrotes/biotipo con 58 plántulas, con un total de 346 unidades (tabla 2, figura 4). La menor la guadua bicolor con 30 y la mayor la guadua macana con 81.

**TABLA 2. NÚMERO DE REBROTOS DE LOS BIOTIPOS DE GUADUA**

Rebrotos									
Biotipo	Iniciales	Fecha inicio toma información	Mes I		Mes II		Mes III		Incremento
01/11/2016									
Bicolor	50		14	10	17	25	27	30	16
Nigra	50		8	11	19	28	34	39	31
Cotuda	50		6	11	17	24	35	42	36
Cebolla	50		14	19	36	47	69	75	61
Macana	50		16	31	47	52	64	81	65
Castilla	50		9	22	34	53	73	79	70
Subtotal	300		67	104	170	229	302	346	279
Promedio								58	47

Fuente: elaboración propia.

**FIGURA 4.** Resultados rebrotos por biotipo, proyecto adaptabilidad biotipos guadua Pitalito 2017

Fuente: elaboración propia.

## ETAPA SITIO DEFINITIVO

### Altura de rebrotes

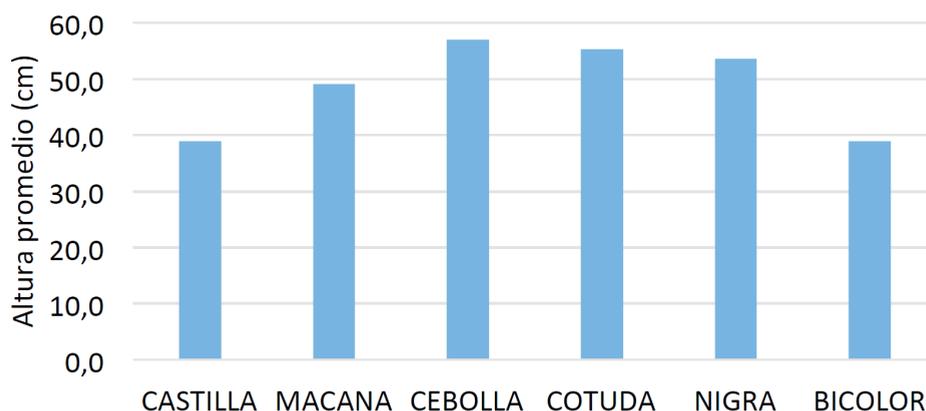
En cada parcela, definida como el área destinada para ubicar los 25 individuos de guadua, se tomaron las nueve unidades de guadua ubicadas en el centro de la parcela, para evitar el error de borde (tabla 3, figura 5). Se tomó la variable altura total, dado que en las diferencias en diámetro era deducible que no existían diferencias en su evolución.

**TABLA 3.** *Altura promedio de rebrotes en los biotipos de guadua*

Biotipo	Castilla	Macana	Cebolla	Cotuda	Nigra	Bicolor	Sumatoria	Promedio
Altura promedio (cm)	38,9	49,1	57	55,3	53,6	38,9	292,8	48,8

Fuente: elaboración propia.

**FIGURA 5.** *Crecimiento por biotipo de guadua en centímetros*



Fuente: elaboración propia.

La tabla 3 y la figura 5 presentan los resultados en crecimiento en sitio definitivo de los seis biotipos de *Guadua angustifolia* Kunth analizados desde junio de 2017 a mayo de 2018 (doce meses de siembra). Los resultados permiten deducir que las alturas son similares, que no existe diferencia definitiva y que los mayores resultados en alturas se muestran en los biotipos cebolla, cotuda y nigra, con alturas promedios de 57, 55,3 y 53,6 centímetros, mientras las más pequeñas son castilla y bicolor, con 38,9 centímetros de altura.

## Número de rebrotes

Una variable determinada en campo corresponde al número de rebrotes por unidad de guadua (planta), por parcela y por biotipo, encontrado en la etapa de siembra definitiva en campo.

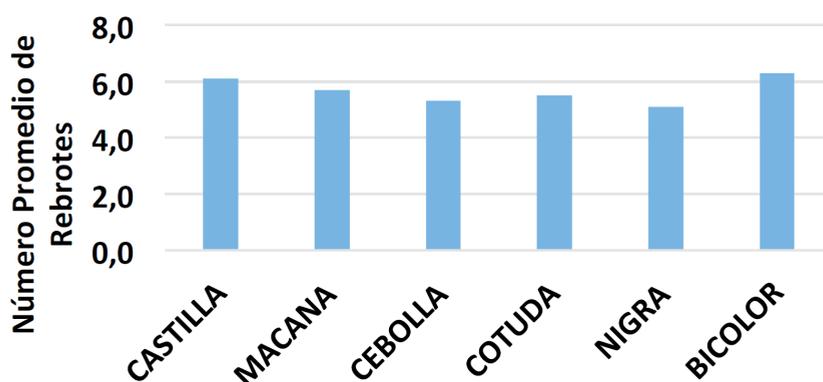
**TABLA 4.** Los resultados obtenidos por planta, parcela y biotipo en número de rebrotes

Biotipo	Castilla	Macana	Cebolla	Cotuda	Nigra	Bicolor	Sumatoria	Promedio
Promedio rebrotes (número)	6,1	5,7	5,3	5,5	5,1	6,3	34,0	5,7

Fuente: elaboración propia.

La tabla 4 y figura 6 muestran el número de rebrotes por planta, por parcela y por biotipo, en un espacio de tiempo de doce meses, desde junio de 2017 a mayo de 2018, logrando establecer los biotipos bicolor y castilla cuentan con sumatorias mayores, alcanzando rebrotes de 113 y 109 unidades en las 18 plantas, con promedio de 6,3 y 6,1 rebrotes por planta, siendo de menor número de rebrotes los biotipos nigra y cebolla, con 5,1 y 5,3 por planta, para un promedio general por biotipo de 5,7 rebrotes por planta.

**FIGURA 6.** Promedio de rebrotes por biotipo de guadua



Fuente: elaboración propia.

En desarrollo del plan prospectivo y estratégico se ha planteado el profundizar el conocimiento de la guadua, por lo que una estrategia es el estudio de sus biotipos, partiendo de la hipótesis que plantea que la *Guadua angustifolia* Kunth es una sola y su diferenciación o especialización se debe a las condiciones agroecológicas del sitio donde se desarrolla.

Para definir el estudio de biotipos se toma el referente de Londoño (2004), quien los denomina como cebolla, macana, cotuda y castilla, y manifiesta que estos biotipos o formas responden a condiciones climáticas y edáficas específicas. Por su parte Camargo (2006) manifiesta que se debe considerar la variación genética y las prácticas de manejo, que pueden ser importantes para explicar la variación en productividad y calidad de la guadua.

Para ello, se ha acudido a las organizaciones sociales que han avanzado en su conocimiento, recorrido territorios y adquirido plántulas seleccionadas en el sitio, en el eje cafetero, en Armenia, en predios que por su clasificación visual son reconocidos los biotipos, para que luego del proceso de adaptabilidad y ensayo en vivero, analizar su adaptabilidad a las condiciones físicas y agroecológicas de la parte alta del río Magdalena, bosque húmedo Premontano, 1 238 m.s.n.m.

Mediante un ensayo de adaptabilidad, a partir de estacas, siembra directa en bolsa negra de 12 x 18, sustrato tierra negra y arena en proporción 3:1, enraizador y micorriza, se presentan los resultados de la etapa de vivero, en noventa días, de los seis biotipos, con diferencias no significativas en las variables. Diámetro basal con incremento de 0,04 cm, altura con promedio de crecimiento de 18,5 centímetros, índice de robustez de 23, sobrevivencia con un 88,7 %. Además, se ha incluido la nueva variable número de rebrotes que alcanza un incremento del 93 %, lo que indica que se sembraron 300 unidades y ahora se poseen 579, lo que permite deducir que los biotipos se adaptan a las condiciones de vivero en zona húmeda Premontana.

Ya sembradas en la finca Marengo, mediante el diseño bloques al azar, una parcela por biotipo, seis parcelas por bloque, 25 unidades de guadua (planta) por parcela, distancia de siembra 5 x 5 metros, en cuadro; los datos se tomaron de las nueve plantas centrales, para evitar el error de borde. En total 300 plantas, dos bloques, que permite concluir que no hay diferencias significativas importantes en el ensayo.

Se precisa mencionar lo manifestado por Posso-Terranova (2011) sobre la diversidad genética y estructura poblacional de la guadua, donde se concluye que se forman dos grupos donde pueden diferenciarse entre biotipos de guadua y que existe una baja diversidad genética de los materiales evaluados. Así mismo, estudios moleculares han indicado que la diversidad genética al interior de esta especie no es significativa y que las variaciones observadas parecen estar influenciadas por el ambiente (Marulanda *et al.*, 2002; Marulanda *et al.*, 2007; Torres *et al.*, 2009).

## CONCLUSIONES

El proyecto “Ensayo de adaptabilidad de seis variedades de la especie bambú guadua en Bosque Húmedo Premontano, cuenca hidrográfica río Guarapas, predio Marengo municipio Pitalito Huila, en zona de protección de la laguna Marengo”, que ha constado de dos etapas, han concluido en el primer año de siembra en sitio definitivo. En su primera etapa, la etapa de vivero, los resultados revelan que no existen diferencias significativas entre biotipos. Al no presentar diferencias significativas, se deduce que las condiciones del vivero han sido uniformes para todos los biotipos y que sus diferencias se refieren a su grado de adaptabilidad. Puede deducirse, dados los resultados presentados como diámetro, altura, robustez, sobrevivencia, que los biotipos se adaptan a las condiciones presentadas en el vivero.

Una variable nueva, estimada como el número de rebrotes por biotipo, permite garantizar la sobrevivencia de la especie y su fácil reproducción en vivero. Un buen número de rebrotes que se acerca y seguramente superará al número de estacas sembrados en corto tiempo.

Las variables determinantes, crecimiento en altura y número de rebrotes, permiten deducir que no existen diferencias significativas entre biotipos, dada la escasa diferencia matemática entre biotipos. Pueden destacarse, en crecimiento en altura, los biotipos cebolla y cotuda con alturas de 57 y 55,3 centímetros, teniendo en cuenta que el promedio general ha sido 48,8 centímetros por planta.

Respecto a la variable número de rebrotes, se puede deducir que no existen diferencias significativas, pero sí un elemento nuevo para continuar analizando. Los biotipos de mayor número de rebrotes por planta son bicolor y castilla, con 6,3 y 6,1, donde el promedio general ha sido 5,7 rebrotes por planta.

Durante la etapa de plantación, el clima ha jugado un papel muy importante, pues dado su cambio repentino e inesperado, de acuerdo con los promedios mensuales establecidos para la zona y la cercanía a la laguna Marengo, ha influido en el desarrollo de la plantación, sin embargo, como se observa en la toma de muestras mensuales, la recuperación de las plántulas, que se daban por muertas, exige un mayor nivel de detalle y un mayor tiempo de análisis, dada esta característica de cercanía a la laguna.

Es viable suponer que el crecimiento en altura, exige primero a la planta de guadua reproducirse, generar nueva vida mediante sus rebrotes y expandir su resistencia generando su sobrevivencia. El menor crecimiento en altura se debe a que la planta debe generar sus rebrotes asegurando su supervivencia, lo que exige un mayor nivel de detalle en investigaciones futuras.

Para una plantación hipotética de una hectárea, con distancias de siembra de 5 x 5, para un total de 400 plantas por hectárea, puede deducirse, en un año, un número de 2280 unidades de guadua. Para un segundo año, es de suponer que ese número será superado, como el crecimiento en altura.

Una primera recomendación es continuar la investigación en campo y en lo posible replicar este ensayo con otros tipos de reproducción, otros tipos de sustratos para el llenado de las bolsas, réplica en otros sitios, siembra directa, entre otros.

Además, es necesario continuar la investigación sobre propiedades físicas y mecánicas para cada biotipo de *Guadua angustifolia* Kunth, para cada vez ampliar el conocimiento sobre sus diferencias y oportunidades en el mercado.

Dada la revisión de literatura y la poca información relevante, finalmente sería ideal llamar a un diálogo de saberes entre expertos, una vez terminada la investigación actual, para que se establezca el rango genealógico de este ejercicio académico, si se clasifica como variedad o como biotipo o forma.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Benavides, C y Mejía, V. (2003). *Establecimiento y evaluación inicial de un arboretum con ocho especies nativas en la Granja Botana* [Tesis de grado]. Universidad de Nariño.

Camargo, J. C. (2006). *Growth and productivity of the bamboo species Guadua angustifolia Kunth in the coffee region of Colombia* [Tesis de doctorado]. University of Göttingen.

Cuellar-Bahamón, A. (2016). Estudio prospectivo de la cadena productiva de la guadua en el sur del departamento del Huila, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 7(2). <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/29607>

Ferrer, J. (2010). *Tipos de investigación y diseños de investigación*. Conceptos básicos de metodología de la investigación. <http://metodologia02.blogspot.com/p/operacionalizacion-de-variables.html>

García-Soria, D. y Del Castillo-Torres, D. (2015). Estimación del almacenamiento de Carbono y estructura en bosques con presencia de bambú (*Guadua sarcocarpa*) de la comunidad nativa Bufeo Pozo, Ucayali, Perú. *Folia Amazónica*, 22(1-2), 105-113. <https://doi.org/10.24841/fa.v22i1-2.53>

INYUMACIZO, G. D. (2012). *Promoción, innovación y desarrollo industrial de la guadua (Guadua angustifolia Kunth), en la cuenca hidrografica del río Guarapas, departamento del Huila Colombia*. Pitalito.

Londoño, X. (2004). Distribución, morfología, taxonomía, anatomía, silvicultura y usos de los bambúes del Nuevo Mundo. En B. Ramírez-Padilla y D. Macías-Pinto (Eds.), *Memorias III Congreso Colombiano de Botánica*. Universidad del Cauca.

Londoño, X. (2011). El bambú en Colombia. *Biotecnología vegetal*, 11(3), 143-154. <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/485/882>

Marulanda, M. L., Márquez, P. y Londoño, X. (2002). AFLP's analysis of *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoid eae) in Colombia with emphasis in the Coffee Region. *Bamboo science & culture*, 16(1), 32-42. <https://bamboo.org/ABSJournalArchive/ABSJournal-vol16.pdf>

Marulanda, M., López, A. M. y Claroz, J. L. (2007). Analyzing the genetic diversity of *Guadua* spp. in Colombia using rice and sugarcane microsatellites. *Crop breeding and Applied Biotechnology*, 7(1), 43-51. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20073146356>

Mendez-Pedroza, N. M. (2015). *Obtenido de 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* [Tesis doctoral]. Universidad Católica de Ávila. <http://ucav.odilotk.es/opac?id=00045859>

Méndez-Pedroza, N. M. y Montealegre-Torres, W. I. (2017, 26 de abril). Adaptabilidad de biotipos de la guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) etapa vivero en bosque húmedo premontano, cuenca hidrográfica río guarapas, predio marengo municipio Pitalito, Huila. *Documentos De Trabajo ECAPMA*, (1). <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.1831>

Montealegre-Torres, W. I., Cuellar-Bahamon, A. y Méndez-Pedroza, N. M. (2016). *Formulación del plan prospectivo y estratégico. Consolidación cadena productiva de la guadua angustifolia en la Cuenca hidrográfica del río Guarapas Huila Colombia*. Editorial Académica Española.

Muñoz-López, J., Camargo-García, J. C. y Romero-Ladino, C. (2017). Beneficios de los bosques de guadua como una aproximación a la valoración de servicios ecosistémicos desde la “jerarquización y calificación”. *Gestión y Ambiente*, 20(2), 222-231

Posso-Terranova, A. M. (2011). *Diversidad genética y estructura poblacional de la Guadua angustifolia en el eje cafetero colombiano* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/8369>

Ramírez-Correa, L. A., Granados-Moreno, J. E. y Carreño-González, N. E. (2014). Evaluación del efecto de tratamientos de desinfección con hipoclorito de sodio sobre segmentos nodales de *Guadua angustifolia* Kunth para el establecimiento del cultivo in vitro. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 5(1), 105-109. <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/944/928>

Teneche, G. (2007). *Estudio 5. Guadua y Bambú Colombia (GBC)*. <http://guadua-bambu.es.tl/Estudio-5.htm>

Torres, L., López, D. C., Palacio, J. D., Duque, M. C., Pérez-Galindo, C. A., González-Vargas, A. y Cárdenas-Henao, H. (2009, septiembre). *Evaluation of the Polymorphic of Microsatellites Markers in Guadua angustifolia (Poaceae: Bambusoideae)* [Ponencia]. VIII World Bamboo Congress, Bangkok, Tailandia.

## 2.6 CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE UN BOSQUE URBANO EN LA CIUDAD DE NEIVA, HUILA

---

Mauro Albeiro Bravo Gaviria

Ingeniero Agroforestal, Especialista en Biotecnología Agraria, Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Neiva, Colombia  
mabrga6@gmail.com

Guillermo Edmundo Caicedo Diaz

Ingeniero Agrónomo, Especialista en Formulación y evaluación de proyectos de desarrollo social, Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Neiva, Colombia  
diguillerm@gmail.com

Juan Pablo Herrera Cerquera

Ingeniero Ambiental, Especialista en Alta Gerencia, Magíster en Marketing Digital y Comercio Electrónico, Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Neiva, Colombia  
jherrera1155@gmail.com

---

### RESUMEN

Esta investigación se realizó en la ciudad de Neiva, departamento del Huila, sobre un bosque urbano de tres hectáreas en la ribera del río Magdalena, sector del barrio Carlos Pizarro. El 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 la restauración ecológica que ha sido liderada por los habitantes del barrio, sin embargo, no se cuenta con un estudio que proporcione líneas base para la selección adecuada de las especies arbóreas en la reforestación. El objetivo de esta investigación consistió en identificar la composición florística, el índice de valor de importancia (IVI) y el cociente de mezcla (CM) como indicadores de biodiversidad y de planificación. Se realizó una investigación descriptiva a través de un muestreo sistemático en 12 parcelas de 100 m<sup>2</sup>. Se muestrearon todos los individuos con diámetro a la altura de pecho (DAP)  $\geq$  1cm, se registró la familia, nombre común y nombre científico, el IVI se obtuvo a través de la suma de 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. Se identificaron 119 individuos pertenecientes a 17 géneros correspondientes a 12 familias desatándose la familia fabaceae. El IVI posicionó a la especie *Guazuma ulmifolia* como la de mayor peso ecológico a diferencia de *Machaerium capote* y *Trichilia trifolia* que presentaron el menor peso ecológico por lo que se recomienda la selección y siembra de estas especies como primera opción en jornadas de reforestación. Se obtuvo un CM de 1:7 posicionando este lugar como un bosque diverso.

**Palabras clave:** *bosque urbano, composición florística, índice de valor de importancia, restauración ecológica.*

## ABSTRACT

This investigation was carried out in the city of Neiva, department of Huila, on an urban forest of three hectares on the banks of the Magdalena river, sector of the Carlos Pizarro neighborhood. The forest is next to the urban area of Neiva so it presents problems of pollution, degradation and deforestation, this has generated the need for ecological restoration that has been led by the inhabitants of the neighborhood, however, there is no study that provides baselines for the appropriate selection of tree species in reforestation. The objective of this research was to identify the floristic composition, the Importance Value Index (IVI) and the Mixture Quotient (CM) as indicators of biodiversity and planning. A descriptive investigation was carried out through a systematic sampling in 12 plots of 100 m<sup>2</sup>. All individuals with chest height diameter (DAP)  $\geq$  1cm were sampled, family, common name and scientific name were recorded, IVI was obtained through the sum of relative abundance (Ar), relative frequency (Fr) and relative dominance (Dr). The CM was obtained by relating the total number of species with the total number of individuals. 119 individuals belonging to 17 genera corresponding to 12 families were identified, unleashing the fabaceae family. The IVI positioned the species *Guazuma ulmifolia* as the one with the highest ecological weight, unlike *Machaerium capote* and *Trichilia trifolia*, which presented the lowest ecological weight, so the selection and planting of these species is recommended as the first option in reforestation days. A CM of 1: 7 was obtained by positioning this place as a diverse forest.

**Keywords:** *urban fores, floristic composition, importance value index, ecological restoration.*

## INTRODUCCIÓN

Se puede definir a los bosques urbanos como redes o sistemas que comprenden todos los arbolados, grupos de árboles y árboles individuales ubicados en las áreas urbanas y periurbanas (FAO, 2018). En el 2050, el 70 % de la población mundial vivirá en las ciudades y pueblos. Por tanto, el desarrollo urbano sostenible es fundamental para garantizar la calidad de vida de la población mundial (FAO, 2016). La comprensión de sus diferentes aspectos ecológicos y estructurales, permitirá orientar de manera más eficaz el manejo exitoso de este tipo bosques (Galvis, 2009).

Neiva es la capital del departamento del Huila, tiene una población de 335 578 habitantes, de los cuales 314 806 viven en la zona urbana, es decir el 93,81 %, entre tanto, 20 772 habitantes se encuentran en la zona rural para un 6,19 %. Esta ciudad cuenta con una buena arborización como otras ciudades de Colombia (Perdomo y Díaz, 2015). En el bosque urbano de la ciudad de Neiva, se encontró un total de 18 141 árboles, de los cuales 1 917 se encuentran en la comuna uno (Alcaldía de Neiva, 2008). En estos remanentes de bosque no solo se ha perdido la composición y la estructura, sino también funciones ecológicas como la regulación hídrica, el control de erosión y la captura de biomasa, entre otros (Pizano y García, 2014). En estos, el desarrollo de la vegetación está condicionado a la presión antrópica que altera la dinámica sucesional (POT).

Frente a esta situación, la alcaldía de Neiva en su mapa de usos de suelo tiene ubicado este lugar como una zona de “Protección ronda hídrica”, adicionalmente, se ha generado la necesidad de su restauración ecológica que ha sido liderada por la misma comunidad (Bravo, 2019). Sin embargo, para el proceso de restauración ecológica faltan investigaciones que proporcionen líneas base que permitan la selección adecuada de las especies arbóreas en la reforestación.

Por lo anterior, este estudio se desarrolló en el bosque urbano del barrio Carlos Pizarro de la ciudad de Neiva con el fin de identificar la composición florística, estimar el peso ecológico a través del Índice de valor de importancia (IVI) y obtener el cociente de mezcla (CM) como indicadores de biodiversidad y de planificación. La obtención de esta información permitirá diseñar un plan de manejo y conservación del bosque.

## METODOLOGÍA

El inventario se realizó sobre un bosque urbano de tres hectáreas en la ribera del río Magdalena, sector del barrio Carlos Pizarro, coordenadas 2°57'28.8"N 75°17'57.8"W (Google, s.f.) clasificado según el sistema Holdridge como un bosque seco tropical (bs-T) (Holdridge, 1967) utilizado por (Morales y Espejo, 2019). A 470 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 a través de un muestreo sistemático en parcelas de 10 x 10 m (100 m<sup>2</sup>). Se ubicaron 12 parcelas al azar abarcando un área total de muestreo de 0,12 hectáreas, esto corresponde al 4 % del bosque. Se muestrearon todos los individuos con diámetro a la altura de pecho (DAP) ≥ 1cm. Para cada individuo se registró su familia, nombre común, nombre científico y DAP tomado a 1,3 m sobre el suelo con cinta diamétrica.

El peso ecológico de las especies se determinó a través del índice de valor de importancia (IVI) el cual fue desarrollado por Curtis y McIntosh (1951) aplicado por (Galvis, 2009) 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 fórmula:

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

Donde:

ni = Número de individuos de la iésima especie

N = Número de individuos totales en la muestra

La frecuencia relativa (Fr) se obtuvo mediante la fórmula:

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

Donde:

$F_i$  = Frecuencia absoluta de la  $i$ ésima especie

$F_t$  = Total de las frecuencias en el muestreo

La dominancia relativa ( $Dr$ ) se obtuvo mediante la fórmula:

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

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.

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

Donde:

$S$  = Número total de especies en el muestreo

$N$  = Número total de individuos en el muestreo

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Composición florística:** en el inventario, se registraron 17 géneros pertenecientes a 12 familias. La familia más rica fue la fabaceae con 4 géneros, lo que concuerda con Pizano y García (2014) quienes ubican a esta familia como una de las más frecuentes en este tipo de bosque. La familia anacardiaceae se presentó con 2 géneros, las restantes solo obtuvieron un género por familia (tabla 1). Estos resultados muestran una alta riqueza en relación al área total del bosque, esto es posible ya que muchas de las especies han sido introducidas en jornadas de reforestación por los habitantes del lugar (Montenegro, comunicación personal, 15 de enero de 2019).

**TABLA 1.** Composición florística para especies con (DAP)  $\geq 1\text{cm}$  en el bosque urbano del barrio Carlos Pizarro, Neiva, Huila

Familia	Nombre común	Nombre científico
Malvaceae	Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.
Myrtaceae	Arrayan	<i>Myrcia popayanensis</i> Hieron.
Rutaceae	Tachuelo	<i>Zanthoxylum rigidum</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.
Fabaceae	Saman	<i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr.
Anacardiaceae	Caracoli	<i>Anacardium excelsum</i> (Bertero & Balb. ex Kunth) Skeels
Fabaceae	Igua	<i>Pseudosamanea guachapele</i> (Kunth) Harms
Anacardiaceae	Diomate	<i>Astronium graveolens</i> Jacq.
Meliaceae	Neem	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.
Moraceae	Dinde	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex Steud.
Fabaceae	Payande	<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.
Hypericaceae	Lacre	<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.
Urticaceae	Yarumo	<i>Cecropia angustifolia</i> Trécul
Dilleniaceae	Chaparro	<i>Curatella americana</i> L.
Brunelliaceae	Brunellia	<i>Brunellia comocladifolia</i> Bonpl.
Sapindaceae	Manoncillo	<i>Melicoccus bijugatus</i> Jacq.
Fabaceae	Capote	<i>Machaerium capote</i> Triana ex Dugand
Meliaceae	Casposo	<i>Trichilia trifolia</i> L.

Fuente: elaboración propia.

**Abundancia:** la especie más abundante fue *Guazuma ulmifolia*, seguido de *Pithecellobium dulce* y *Zanthoxylum rigidum*, caso contrario, lo presentaron las especies *Machaerium capote* y *Trichilia trifolia* con la menor abundancia.

**Frecuencia:** las especies más frecuentes fueron *Guazuma ulmifolia*, seguido de *Myrcia popayanensis*, las menos frecuentes fueron el *Azadirachta indica*, *Machaerium capote* y *Trichilia trifolia*. Este resultado muestra a la especie *G ulmifolia* como la más frecuente, es decir, la que presentó una mejor distribución en el espacio, esto es posible por su rápido crecimiento en bosques secundarios, los resultados concuerdan con los registros de Pizano y García (2014) quienes la clasifican como una de las especies con las mayores frecuencias en este tipo bosques.

**Dominancia:** la especie más dominante fue *Guazuma ulmifolia*, con el 16,96 %, al contrario, las especies menos dominantes fueron *Curatella americana* y *Melicoccus bijugatus* con 0,81 % y 0,47 % respectivamente. Es claro que la especie dominante en este lugar es *G ulmifolia* por sus características de adaptación a bosques secundarios y sucesionales.

Índice de valor de importancia (IVI): las especies con mayor peso ecológico fueron *Guazuma ulmifolia* con un IVI de 45,13 seguido de *Myrcia popayanensis* con un IVI de 33,82 y *Zanthoxylum rigidum* con un IVI de 30,85. Las especies con menor peso ecológico fueron *Machaerium capote* y *Trichilia trifolia* con un IVI de 7,67 y 7,0 respectivamente (tabla 2).

**TABLA 2.** Índice de valor de importancia (IVI) para las especies encontradas en el bosque urbano del barrio Carlos Pizarro, Neiva, Huila

Nombre común	Abundancia absoluta	Ar	Frecuencia absoluta	Fr	Dominancia absoluta	Dr	IVI al 300 %
Guácimo	20	16,81	10	11,36	1,057	16,96	45,13
Arrayan	13	10,92	9	10,23	0,790	12,67	33,82
Tachuelo	14	11,76	7	7,95	0,694	11,14	30,85
Saman	8	6,72	7	7,95	0,596	9,56	24,24
Caracoli	6	5,04	5	5,68	0,644	10,33	21,05
Igua	8	6,72	6	6,82	0,305	4,89	18,43
Diomate	6	5,04	5	5,68	0,377	6,05	16,77
Neem	8	6,72	3	3,41	0,305	4,89	15,02
Dinde	4	3,36	4	4,55	0,363	5,82	13,73
Payande	4	3,36	4	4,55	0,286	4,59	12,50
Lacre	5	4,20	5	5,68	0,157	2,53	12,41
Yarumo	4	3,36	4	4,55	0,253	4,05	11,96
Chaparro	5	4,20	5	5,68	0,050	0,81	10,69
Brunellia	4	3,36	4	4,55	0,151	2,43	10,33
Manoncillo	4	3,36	4	4,55	0,029	0,47	8,38
Capote	3	2,52	3	3,41	0,108	1,74	7,67
Casposo	3	2,52	3	3,41	0,067	1,07	7,00
TOTAL	119	100,00	88,00	100,00	6,23	100,00	300,00

Fuente: elaboración propia.

En general, los resultados indican a la especie *G ulmifolia* como una de las más importantes para este bosque, esto es posible ya que esta especie se adapta bien al bosque seco tropical y bosques secundarios en estados sucesionales, esto concuerda con el estudio de Morales y Espejo (2019) quienes reportan esta especie en estados sucesionales tempranos, intermedios y tardíos para el sur del valle del Magdalena. Además, concuerdan con lo reportado por Pizano y García (2014) como una de las especies más importantes en el valle geográfico de río Magdalena y con los estudios realizados por Perdomo y Díaz (2015) quienes las identifican como especies que fortalecen la estructura ecológica de la ciudad

**Cociente de mezcla (CM):** se muestrearon 119 individuos entre los cuales se encontraron 17 especies diferentes, esto generó un cociente de mezcla de 1:7 posicionando este lugar como un bosque diverso. Este resultado se considera positivo para este bosque ya que el estudio se realizó en un bosque pequeño de tres hectáreas.

## CONCLUSIONES

Se inventariaron 119 individuos pertenecientes a 17 géneros correspondientes a 12 familias, entre las cuales se destacaron la familia fabaceae y anacardiaceae. Se obtuvo un cociente de mezcla de 1:7, posicionando a este lugar como un bosque diverso al considerar que fue un bosque pequeño de tres hectáreas. Las especies con mayor peso ecológico fueron *Guazuma ulmifolia*, *Myrcia popayanensis* y *Zanthoxylum rigidum* ya que presentaron la mayor abundancia, frecuencia y dominancia. Las especies con menor peso ecológico fueron *Machaerium capote* y *Trichilia trifolia*, por lo que se recomienda la selección y siembra de estas especies como primera opción en jornadas de reforestación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcaldía de Neiva (2008). *Censo forestal Neiva*. Departamento del Huila.

Bravo, M. A. (2019). *Proyectos ciudadanos de educación ambiental - PROCEDA del Barrio Carlos Pizarro*. Neiva, Huila,

FAO. (2016). *Directrices para la silvicultura urbana y periurbana*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/a-i6210s.pdf>

FAO. (2018). Bosques y ciudades sostenibles. *Unasilva*, 69. <http://www.fao.org/3/i8707es/i8707ES.pdf>

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

Google. (s.f). Mapa de Neiva, Colombia en Google Maps. Neiva, Huila, Colombia. <https://n9.cl/rwwba>

IDEAM. (1999, 4 de octubre). *Información histórica. Cartas climatológicas - Medias mensuales, Aeropuerto Benito Salas*. <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/neiva/tabla.htm>

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. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v41n1.71272>

Perdomo, A. y Diaz, W. (2015). *Diagnostico piloto y plan de manejo de arborización en la ciudad de Neiva* [Tesis de maestría]. Universidad de Manizales. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/2456>

Pizano, C. y García, 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>

## 2.7 EVALUACIÓN DE TRES CULTIVARES DE ACHIRA (*CANNA EDULIS* KER) CON PERIODO VEGETATIVO CORTO Y ALTA PRODUCCIÓN DE ALMIDÓN, PARA LAS ZONAS MARGINALES DE CAFÉ EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA

---

Guillermo Edmundo Caicedo Díaz

Ingeniero Agrónomo, Especialista en Formulación y Evaluación de proyectos de desarrollo social, Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Neiva, Colombia  
diguillerm@gmail.com

Mauro Albeiro Bravo Gaviria

Ingeniero Agroforestal, Especialista en Biotecnología Agraria, Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Neiva, Colombia  
mabrga6@gmail.com

Juan Pablo Herrera Cerquera

Ingeniero Ambiental, Especialista en Alta Gerencia, Magíster en Marketing Digital y Comercio Electrónico, Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Neiva, Colombia  
jherrera1155@gmail.com

---

### RESUMEN

La investigación se realizó en el municipio de Rivera, departamento del Huila, esta zona presenta potencial para la producción de almidón de achira, sin embargo, se desconocen las variedades con mejor comportamiento para la zona marginal cafetera. El objetivo del trabajo fue evaluar el comportamiento tres cultivares de achira consideradas de alta producción para la zona, se realizó un diseño en bloques completos al azar con tres tratamientos y tres repeticiones, los tratamientos fueron: T1 achira morada del municipio de San Agustín, T2 achira blanca del municipio de La Cruz (Nariño) y T3 achira nativa del municipio de Altamira. Se utilizaron nueve parcelas de 10 m<sup>2</sup>, se evaluó a los nueve meses los atributos de producción. En general, la

producción de almidón fue baja y osciló entre 620 Kg/ha y 1 800 Kg/ha, el cultivar de mejor comportamiento fue la variedad morada con un rendimiento de 1 800 Kg/ha de almidón, la cual se consideró como una alternativa para los pequeños productores ubicados en las zonas marginales bajas de café.

**Palabras clave:** *materiales de achira, sostenibilidad, alternativa de producción, pequeños productores, rentabilidad.*

---

## ABSTRACT

The research was carried out in the municipality of Rivera, department of Huila, this area has potential for the production of achira starch, however, the varieties with the best behavior for the marginal coffee zone are unknown. The objective of the work was to evaluate the behavior of three achira cultivars considered to be of high production for the area, a complete randomized block design was carried out with three treatments and three repetitions, the treatments were: T1 achira morada from the municipality of San Agustín, T2 white achira from the municipality of La Cruz (Nariño) and T3 achira native to the municipality of Altamira. Nine 10 m<sup>2</sup> plots were used, the production attributes were evaluated at nine months. In general, the starch production was low and ranged from 620 Kg / ha to 1800 Kg / ha, the best-performing cultivar was the purple variety with a yield of 1800 Kg / ha of starch, which was considered as an alternative to small producers located in the low marginal areas of coffee.

**Keywords:** *achira materials, sustainability, production alternative, small producers, profitability.*

---

## INTRODUCCIÓN

La achira es una especie originaria de la zona andina (Lobo-Arias *et al.*, 2017), en quechua el nombre achira es usado para una planta cuyas raíces sirven para sostener a los indios (Seminario, 2004). Hace parte de la familia cannaceae (Tropicos, 2019) y se cultiva en climas con altitudes inferiores a 2 700 metros sobre el nivel del mar (Ariza-León *et al.*, 2013). En Colombia se cultiva esencialmente para la extracción de almidón de sus rizomas, el cual a su vez es utilizado como una materia prima para la fabricación de los

“bizcochos de achira”, el “pan de sagu”, el “bizcochuelo” y otros productos tradicionales. El cultivo de la achira y la extracción de su almidón son actividades importantes para la economía de algunas regiones, principalmente en el oriente de Cundinamarca y en el sur de Huila, y, en forma más aislada como en algunos municipios de los departamentos de Nariño, Cauca y Tolima (Rodríguez *et al.*, 2003).

En Colombia para el año 2018 se cultivaron 644,2 ha con una producción de 1 813,4 tn/ha (Agronet, 2019). La achira se cultiva tradicionalmente en las zonas de minifundio de los departamentos de Huila, Cundinamarca y Nariño (Caicedo, *et al.*, 2000), especialmente en el Huila, tiene gran importancia social, ambiental y económica, por ser uno de los productos con mayores posibilidades de transformación, fuente generadora de mano de obra y divisas para el país (Caicedo, *et al.*, 2003). Esta especie es considerada como una alternativa de producción en la zona cafetalera y zonas marginales (Caicedo, 2004).

La achira (*Canna edulis*) con su principal derivado, el almidón, es muy apetecida y cotizada en la elaboración de productos enlatados, en las industrias farmacéutica, textil, papelería y adhesivos; y, en uso medicinal. Es una especie de gran importancia para la economía de las familias campesinas del sector sur oriental del cantón Loja Ecuador (Játiva-Reyes *et al.*, 2019).

La raíz de achira (*Canna Edulis Ker*) ha sido poco utilizada en la industria alimentaria, puesto que su mayor uso se ha dado en productos de panadería, básicamente para la elaboración del biscocho de achira típico del Huila y el Tolima (Bohorquez-Pérez *et al.*, 2017).

En el año 2018 el departamento del Huila fue el segundo productor de almidón a nivel nacional con 52 ha sembradas, 104,5 tn producidas, con un rendimiento de 2,01 tn/ha (Agronet, 2019), además este departamento tiene denominación de origen para este producto. Sin embargo, la oferta local del almidón aún es baja comparada con la demanda departamental, esto se debe principalmente a la poca siembra del cultivo como consecuencia del desconocimiento de las especies promisorias adaptadas a esta región.

Por lo anterior, el objetivo de este estudio consistió en la evaluación de tres cultivos de achira considerados como de alta producción de almidón en zonas marginales productoras de café.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el lote experimental del Colegio Núcleo Escolar el Gual, ubicado en el municipio de Rivera, departamento del Huila a 1 000 m.s.n.m., precipitación de 1 340 mm/año, humedad relativa 66 %, temperatura promedio de 27°C (IDEAM, 1999), coordenadas 2°47'40.0"N 75°14'24.6"W, suelos franco arcillosos, formación ecológica de bosque seco tropical (bs-T).

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar en el cual los tratamientos fueron los cultivares de: T1 Achira morada del municipio de San Agustín, T2 Achira blanca del municipio de la cruz (Nariño) y T3 Achira nativa del municipio de Altamira. Se realizaron 3 repeticiones, se evaluó la altura planta (cm), número de hojas, color de flor, número de colinos, peso de rizomas (Kg/ha), peso de almidón (Kg/ha) y el índice de conversión (rizoma/almidón). Atributos utilizados en Agrosavia para evaluaciones experimentales. La siembra de los colinos se realizó de manera manual en un área de 900 m<sup>2</sup>, en la cual se distribuyeron nueve parcelas de 10 m<sup>2</sup>; se sembraron diez colinos por parcela.

Se realizaron limpiezas en siembra, una aplicación de abono orgánico en proporción de 200gr/planta y aplicación de productos para la protección de cultivos utilizados de manera general en el cultivo. Para la toma de la información, en el momento de cosecha (nueve meses) se utilizaron dos plantas centrales por parcela. Para el análisis estadístico se utilizó el programa Infostat al 95 % de confianza y Tukey para comparación de medias.

**FIGURA 1.** *Cultivares de achira utilizados en el estudio*



Morada Blanca Nativa

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### CARACTERÍSTICAS FENOLÓGICAS DE LAS TRES VARIEDADES EN ESTUDIO

**TABLA 1.** Información general de tres cultivares de achira en el Núcleo Escolar el Guadual, la Ulloa municipio de Rivera, Huila

	Altura Planta cm	Número de hojas	Color de flor	N.º colinos	Peso de rizomas Kg/ha	Peso de almidón Kg/ha	Índice de conversión rizoma/almidón
T2	200	9	Rojo	9	9 800a	750a	7,65 %
T3	210	7	Rojo	27	8 800a	620a	7,04 %
T1	210	7	Rojo	16	18 800b	1 800b	9,57 %

Fuente: elaboración propia.

El rendimiento varía considerablemente, de acuerdo con la duración del periodo de crecimiento, condiciones de clima y suelo. La achira es una de las plantas que produce mayor rendimiento de almidón por unidad de superficie y el rendimiento varía con la edad de los rizomas.

Según el experimento realizado en la granja del Núcleo Escolar el Guadual se presentó lo siguiente: la variedad morada presentó mejor comportamiento y vigorosidad en todo el periodo vegetativo del cultivo. Obtuvo los mejores rendimientos en almidón logrando un peso de 1 800 Kg/ha. Estos rendimientos son bajos comparados con otros estudios, pues en otros municipios se lograron en promedio 4 000 a 5 000 Kg/ha, y en evaluaciones experimentales, se lograron rendimientos de 9 000 kg/ha.

Este mismo material presentó mayor peso de rizomas 18 800 Kg/ha. Que es un peso considerado bajo según estadísticas encontradas en otras investigaciones. Y se definió como su época óptima de cosecha a los (9) meses.

En el índice de conversión rizoma/almidón, la variedad morada se caracterizó por ser la mejor con un 9,57 % que es un promedio considerado aceptable según diferentes evaluaciones, ya que se encuentran en un rango de 10 al 12 %.

Como eventos de transferencia, se realizaron demostraciones de método, en preparación de semilla, preparación del suelo, siembra, toma de información de las variables en estudio cosecha y beneficio.

La producción de almidón para todo el experimento osciló entre 620 Kg/ha y 1 800 Kg/ha, producción baja respecto a los 2 800 kg/ha del promedio nacional (Agronet, 2019) quienes registran rendimientos de almidón hasta 6 887 Kg/ha. La baja producción se debió posiblemente a que la época de cosecha coincidió con una época invernal, es decir, no se cosecho en el momento preciso para obtener excelentes rendimientos en rizomas y almidón, además, la siembra se realizó en suelos compactos y arcillosos que en su fase inicial sufrieron un stress hídrico que retrasó el desarrollo normal.

Al respecto, Caicedo *et al.* (1997) indican que la correcta selección del lote para el establecimiento del cultivo es imprescindible para obtener un buen rendimiento en rizomas y almidón y minimizar los problemas que se presentan en el desarrollo del cultivo por presencia de factores ambientales adversos como sequía, exceso de lluvias, degradación del suelo por erosión y disponibilidad de condiciones mínimas para el desarrollo de la plantación. Las lluvias provocaron que los rizomas retoñaran produciendo nuevos colinos, y por ende los tres materiales se afectaron, teniendo como resultado bajos rendimientos en rizomas y almidón.

A pesar de estos aspectos negativos, la variedad morada logró obtener 1 800 kg/ha con diferencias estadísticas significativas respecto a los materiales de achira blanca y nativa. Posiblemente el mejor comportamiento de la variedad morada se debe a que esta se adaptó mejor a las condiciones de edafoclimáticas de la zona, por lo que se puede determinar que esta variedad es una alternativa de producción rentable y sostenible para pequeños productores ubicados en zonas marginales de café en el departamento del Huila. Sin embargo, su producción aún es baja comparada con los máximos rendimientos en almidón reportados por Caicedo *et al.* en 1997, los cuales estuvieron en 4 223 kg/ha con un índice de conversión de 9,94 % para la misma variedad.

---

## CONCLUSIONES

La producción de almidón fue baja y osciló entre 620 Kg/ha y 1 800 Kg/ha. De los tres materiales estudiados, el cultivar de mejor comportamiento, mayor producción en rizomas y almidón fue la variedad morada con un rendimiento de 1 800 Kg/ha de almidón, por lo cual se consideró como una alternativa sostenible y rentable para los pequeños productores ubicados en las zonas marginales bajas de café.

Según estudios de Agrosavia realizados en el municipio de Altamira se ha demostrado que el material en estudio la nativa obtuvo muy buenos rendimientos de almidón para las condiciones ambientales de este municipio, logrando a producir más de 5 000kg/ha.

Hay un aspecto importante en el sistema productivo de achira, que es el momento óptimo de cosecha. Según el estudio se pudo determinar que la época óptima de cosecha para cultivar la morada es a los seis meses y se debe ejecutar en época de sequía. Se recomienda estudiar el comportamiento de estas variedades en correlación con épocas de lluvia y en diferentes tipos de suelo.

---

## AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a la Universidad Abierta y a Distancia (UNAD) por su apoyo y aportes para el desarrollo del proyecto de investigación. Expresa también el agradecimiento a los diferentes actores de la cadena productiva de achira que con su experiencia y conocimiento aportaron la información requerida durante el desarrollo de la herramienta de investigación, al Colegio Núcleo Escolar el Guadual por facilitar su granja para el desarrollo del proyecto de investigación.

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agronet, (2019). *Estadísticas agrícolas: Área, producción y rendimiento nacional por cultivo* [consultado 2019 nov 15]. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>

Ariza-León E., Castro-Cely, A. L. y Gómez-Cañón, J. D. (2013). Factibilidad del uso del almidón de achira como agente controlador de filtrado en lodos de perforación base agua. *Revista ION*, 26(1), 63-71.

Bohórquez-Pérez, Y., Bonilla-Garzón, M. A., Pérez-Leal, I. C., Quintero-Vásquez, S. T. y Vargas-Vargas, J. (2017). Caracterización y potencial uso de la raíz achira (*Canna Edulis Ker*). Vía *Innova*, (4), 89-97. <https://doi.org/10.23850/2422068X.1184>

Caicedo, G. E. (2004). El cultivo de achira: Alternativa de producción para el pequeño productor. En J. Seminario (Ed.), *Raíces andinas: contribuciones al conocimiento y a la capacitación. Serie: conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos*

*andinos: una década de investigación para el desarrollo (1993-2003)* (pp.149-156). Universidad Nacional de Cajamarca, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.

Caicedo G. E., Rozo, L. S., Bonilla, U. (1997). *El cultivo de achira (Canna edulis ker) oferta tecnológica para la producción en el Huila*. PRONATTA.

Caicedo, G. E., Rozo, L. S. y Bonilla, U. (2000). *La achira, su producción y beneficio*. CORPOICA. <http://hdl.handle.net/11348/4079>

Caicedo G. E., Rozo, L. S. y Rengifo, G. (2003). *La achira, alternativa agroindustrial para áreas de economía campesina*. CORPOICA. <http://hdl.handle.net/11348/4071>

IDEAM. (1999, 4 de octubre). *Información histórica. Cartas climatológicas - Medias mensuales, Aeropuerto Benito Salas*. <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/neiva/tabla.htm>

Játiva-Reyes, M. F., Paredes-Andrade, N. J., Bonilla-Bonilla, A. E. y Barrera-Amat, A. L. (2019). Determinación de los requerimientos de riego por aspersión en el cultivo de la achira (*Canna edulis*) y la influencia en sus etapas fenológicas. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 4(8), 908-939.

Lobo-Arias, M., Medina-Cano, C., Grisales-Arias, J., Yepes-Agudelo, A. y Álvarez-Guzmán, J. (2017). Evaluation and morphological characterization of the Colombian collection of achira *Canna edulis* Ker Gawl. (Cannaceae). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(1), 47-73. [https://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol18\\_num1\\_art:558](https://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol18_num1_art:558)

Rodríguez, G. A., García, H. R., Camacho, J. H. y Arias, F. L. (2003). *El almidón de achira o sagú (Canna edulis Ker). Manual técnico para su elaboración*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA. <http://hdl.handle.net/11348/3744>

Seminario, J. (2004). *Raíces andinas: contribuciones al conocimiento y a la capacitación. Serie: conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: una década de investigación para el desarrollo (1993-2003)*. Universidad Nacional de Cajamarca, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.

Tropicos. (2019). Missouri Botanical Garden [consultado 2019, 10 de diciembre]. <http://www.tropicos.org>.

## 2.8 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE PAPA CRIOLLA VARIEDAD “YEMA DE HUEVO” (*SOLANUM PHUREJA JUZ ET BUK. ET.*) EN EL MUNICIPIO DE PURACÉ, DEPARTAMENTO DEL CAUCA

---

Mary Daniela Chilma Fernández

Estudiante de Agronomía, Universidad Nacional Abierta y Distancia UNAD, la Plata Huila, Colombia  
madachifer@hotmail.com

Alejandra María Pena Beltrán

Ingeniera Agrónoma, Especialista en Pedagogía para el desarrollo del aprendizaje autónomo, Magíster en Entornos virtuales de aprendizaje, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, La Plata, Colombia.  
Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), La Plata, Colombia  
alejandra.pena@unad.edu.co

---

### RESUMEN

Esta investigación se enmarca en el sector papero de la zona oriente del Cauca, teniendo en cuenta la creciente producción del tubérculo y con ello la importancia ambiental, económica y social en la región. La creciente producción de la papa amarilla *Solanum phureja juz et buk*, en el corregimiento de Santa Leticia, Purace, Cauca, se debe a que genera una opción de mejora en la seguridad alimentaria y una oportunidad para el desarrollo agrícola a mediano y largo plazo. Se evaluó el rendimiento de papa criolla (*S. phureja*) variedad “yema de huevo”, en tres densidades de siembra, cada una con 210 plantas. Se utilizaron tres tratamientos basados en las distancias más utilizadas en el país. El tratamiento 1 se realizó a 70 cm entre surcos y a 20 cm entre plantas, el tratamiento 2 a 80 cm entre surcos y de 25 cm entre plantas y el tratamiento 3 a 90 cm entre surcos y 30 entre plantas. Las variables de rendimiento evaluadas fueron peso

total de tratamiento y peso por planta. Las densidades de siembra que permitieron obtener mayor producción de papa criolla variedad “yema de huevo” por unidad de área fueron los tratamientos 3 y 2 con un promedio de 551 gramos y 505 gramos por planta, obteniendo diferencias significativas ( $P$ -value <0.05); con el tratamiento 1 que se obtuvo un promedio por planta de 375 gramos por planta. Se deduce a través de esta investigación que la densidad de siembra es un factor influyente ya que a mayor distancia mejor calidad de tubérculos, ya que los tratamientos 2 y 3 demuestran valores similares en tamaño y peso, siendo más alto el peso y tamaño del tratamiento 3.

**Palabras clave:** *calidad, distancia, rendimiento, producción.*

## ABSTRACT

This research is part of the paper sector of the eastern part of the cauca, taking into account the growing production of the tuber and with it the environmental, economic and social importance in the region. The increasing production of the yellow potato *Solanum phurejajud et buk*, in the township of Santa Leticia, Purace, Cauca is due to the fact that it generates an option to improve food security and an opportunity for agricultural development in the medium and long term. The yield of Creole potato (*S. phureja*) variety “egg yolk” was evaluated, in three planting densities each with 210 plants. 3 treatments were used based on the distances most used in the country. Treatment 1 was given 70 cm between rows and 20 cm between plants, treatment 2 was sown at 80 cm between rows and 25 cm between plants and treatment 3, was done at 90 cm between rows and 30 between plants. The performance variables evaluated were total treatment weight and weight per plant. The sowing density that allowed obtaining higher production of Creole Potato variety “egg yolk” per unit area were treatments 3 and 2 with an average of 551 grams and 505 grams per plant, obtaining significant differences ( $P$ -value <0.05) with treatment 1, an average per plant of 375 grams per plant was obtained. It is deduced through this research that the planting density is an influential factor since the greater the distance, the better the quality of the tubers, since treatments 2 and 3 show similar values in size and weight, the weight and size of the treatment being higher 3.

**Keywords:** *quality, size, distance, yield.*

## INTRODUCCIÓN

En Colombia hay 10 departamentos, 283 municipios y 100 000 familias dedicadas al cultivo de la papa en el 2017. El consumo de este producto reportó 2.751.837 toneladas. Cabe resaltar que la cadena de la papa en Colombia genera anualmente cerca de 264 mil empleos totales, de los cuales aproximadamente 75 000 son empleos directos y alrededor de 189 000 son indirectos (Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural, 2018).

Según Fedepapa (2017), “el departamento del Cauca se ha diferenciado por la amplia actividad agrícola y realiza un aporte del 2 % de la producción nacional con un área de 3 352 hectáreas para el 2017, ocupando con ello el puesto séptimo de los departamentos” (párr. 1).

En los últimos años en el municipio de Purace ha aumentado la producción de papa amarilla. Los productores del municipio de Puracé (Cauca) en especial los residentes del centro poblado de Santa Leticia presentan desconocimiento de las distancias de siembra en el cultivo de papa criolla (Chilma-Fernández, 2018) lo cual involucra riesgos fitosanitarios, de calidad que conllevan a riesgos económicos en la producción que se pueden considerar como un factor esencial a tener en cuenta en el proceso productivo de la papa (Román y Hurtado, 2002).

Por otra parte, según Cotes y Ñustez (2001):

“en lo relacionado al valor nutricional del tubérculo, este contiene el doble de fósforo y fibra, mayor cantidad de proteína, compuesta por globulinas en un 60 a 70 % y glutelinas en un 20 a 40 %, entre las enzimas que se encuentran en la papa se pueden enumerar: amilasas, tirosinasas, fosforilasas, catalasas, polifenoxidasas, fosfatasas y peroxidasas entre otras. El contenido de grasa es bajo y los ácidos grasos que la componen son: linoléico, palmítico, oleico, esteárico y mirístico” (p. 71).

Esto explicaría la creciente producción en el departamento del Cauca. Pues, según la investigación de Arias *et al.* (1996) en las altas densidades de siembra de papa “yema de huevo” se beneficia la producción de pequeños tubérculos. Por eso, ante este panorama, con el objetivo de identificar la distancia de siembra que da más rendimiento de la papa yema de huevo en la región se realiza esta investigación.

## MATERIALES

### LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO

El estudio se estableció en la finca Los pinos, ubicada en el corregimiento Santaleticia del municipio de Purace, Cauca, el cual presenta una topografía ondulada, a una altitud de 2 180 m.s.n.m., coordenadas 2°23'80.03" N 76°16'98.05" O.

### CONDICIONES CLIMÁTICAS

El municipio cuenta con una superficie de 707 km<sup>2</sup> de clima frío y 540 km<sup>2</sup> de clima páramo. La altura del municipio sobre el nivel del mar comprende desde los 1 650 m., hasta los 4 700 m, la altura promedio de la cabecera municipal es de 2 180 m.s.n.m. y una temperatura promedio de 16°C (Consejo Municipal para la Gestión Del Riesgo de Desastres, 2012).

### MÉTODOS

A continuación, se relacionan los tratamientos implementados durante la investigación.

### TRATAMIENTOS

**TABLA 1.** *Distancias entre eras y entre plantas*

Distancias de siembra	T1	T2	T3
Distancia entre surcos	70 cm	80 cm	90 cm
Distancia entre plantas	20 cm	25 cm	30 cm

Fuente: elaboración propia.

Las unidades experimentales estaban constituidas por 4 eras de 10 metros en el T1, 5 eras de 10 metros de largo en el T2 y en el T3, 6 eras de 10 metros de largo, como se observa en la tabla 1. Con esta distribución se obtuvieron 200 plantas por tratamiento (Chilma-Fernández, 2018).

## DISEÑO EXPERIMENTAL

Se realizó un diseño experimental completamente al azar ya que es flexible en el número de tratamientos y en el número de repeticiones por tratamiento; es el diseño que más grados de libertad provee para la estimación del error experimental ( $r-1$ ).

Se consideraron dos variables: peso, se manejaron 120 observaciones y réplicas, 40 por tratamiento en los tres tratamientos. En peso solo se tuvo en cuenta el valor en gramos. Se realizó análisis descriptivo para cada uno de los caracteres cuantitativos, los resultados obtenidos se analizaron con el programa estadístico SAS versión 9.0; de ANOVA ( $P>0,5$ ) y prueba de comparación de medias con DUNCAN ( $P>0,5$ ).

## RECOLECCIÓN DE DATOS

Se realizaron tres recolecciones, tomadas a partir de la recolección manual de la papa, usando la técnica tradicional para cosecha del producto en óptimas condiciones de recolección según estándares de la Federación Colombiana de Productores de Papa.

---

## RESULTADOS

Se hizo un análisis para cada uno de los caracteres cuantitativos, estos se sometieron a análisis de varianza teniendo en cuenta el diseño experimental completamente al azar que fue el utilizado en la investigación. Al hallar diferencias significativas en cada uno de los descriptores, se hizo una prueba de Duncan para establecer las diferencias entre los promedios de las variables evaluadas.

**TABLA 2.** Prueba de comparación de rendimiento Kg-Ha<sup>-1</sup> de la diferencia mínima significativa entre los tratamientos teniendo en cuenta la variable peso total, sobre el nivel de significancia  $P > F_{0.5}$

Número de datos procesados	Tratamiento	Peso Kg-Ha <sup>-1</sup>	Agrupamiento
40	T1	7 490	B
40	T2	10 100	A
40	T3	11 020	A

Fuente: elaboración propia.

Los tratamientos 2 y 3 no tienen diferencias significativas teniendo en cuenta la tabla 2, sin embargo, el rendimiento más alto observable es el del tratamiento 2, en el tratamiento 1 se presenta el promedio de peso más bajo en rendimiento; este tratamiento tiene unas distancias más cortas entre surco y entre planta lo que indica que no sería el más recomendado.

**TABLA 3.** Prueba de comparación significativa entre los diferentes tratamientos teniendo en cuenta el peso por planta, sobre el nivel de significancia  $Pr > F_{0.0001}$

Número de datos procesados	Tratamiento	Promedio	Agrupamiento
40	T1	375,48	B
40	T2	505,68	A
40	T3	551,05	A

Fuente: elaboración propia.

Como se nota en la tabla 3, teniendo en cuenta la prueba de Duncan, en el T3 y T2, sobre el nivel de significancia  $Pr > F_{0.0031}$ , no se observan diferencias significativas existiendo como preferentes las distancias de siembra para obtener un pesaje adecuado en los tubérculos; en el T1 se observa un bajo promedio indicando que son importante estas distancias para el cultivo, ya que son las más utilizadas en los cultivos comerciales.

**TABLA 4.** Prueba de comparación de promedios de la diferencia mínima significativa entre los tratamientos teniendo en cuenta la variable peso

Número de datos procesados	Tratamiento	Promedio	Agrupamiento
40	T1	0,250	B
40	T2	1,375	A
40	T3	1,350	A

Fuente: elaboración propia.

Existe una discrepancia significativa que se halla entre los tratamientos 2 y 3, pues se consiguieron tubérculos más pesados comparados con el tratamiento 1 con una confiabilidad del 95 % como se observa en la tabla 4. Se precisa que a mayor distancia el rendimiento es mejor comparando estos tres tratamientos.

---

## DISCUSIÓN

El peso por planta se considera como la variable más importante ya que demuestra el potencial de producción del cultivo (Santamaría-Galindo *et al.*, 2010). Por ello es importante tener en cuenta la producción de Kg-Ha<sup>-1</sup> en cada uno de los tratamientos, teniendo en cuenta que el tratamiento donde se demuestra el potencial de producción de cultivo es el tratamiento 3, con distancias de 90 cm entre surco y 30 cm entre planta. Por lo que, una distancia de 30 cm entre plantas es la mejor alternativa para el número de tubérculos por unidad de área (Cotes y Ñustez, 2001). Esto se evidencia en la cantidad de tubérculos totales que se obtuvo en el T3 que conlleva a mayor producción, pero, aun sí, con este resultado no se puede indicar mejor calidad.

---

## CONCLUSIONES

Los mejores rendimientos/ha-1 se observaron en el tratamiento 3 al lograrse 11 020 kg-ha<sup>-1</sup>, el tratamiento 2 se igualó mucho en rendimiento al tratamiento 1 sin diferencias significativamente importantes en esta variable. El rendimiento del tratamiento 1 es significativamente importante ya que fue el más bajo obteniendo solo 7 490 kg-ha<sup>-1</sup>.

Respecto a la comparación de peso promedio por planta se concluye que el tratamiento 3 dio mejores resultados de rendimiento, ya que produce un promedio de 551 g/planta; mientras que el tratamiento con bajo rendimiento es el tratamiento 1 con 375 g/planta.

Esta investigación permite conocer la distancia de siembra que mejor rendimiento y tamaño de tubérculo mediano produce en la zona, para así realizar un aporte importante tanto en el ámbito económico como ambiental evitando uso indiscriminado de agroquímicos.

Esta investigación resultará de vital implementación en las diferentes regiones para realizar mejor aprovechamiento de terreno, conociendo la influencia de las condiciones agroclimáticas con las densidades de siembra en el rendimiento del cultivo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arias, V., Bustos, P. y Núñez, C. E. (1996). Evaluación del rendimiento en papa criolla (*Solanum phureja*) variedad “Yema de huevo”, bajo diferentes densidades de siembra en la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana*, 13(2), 152-161 <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/25442>

Chilma-Fernández, M. D. (2018). *Evaluación de la influencia de la densidad de siembra en el tamaño del tubérculo y producción del cultivo de papa criolla variedad “Yema de huevo” (Solanum phureja Juz et Buk et) en el corregimiento Santa Leticia municipio de Puracé departamento del Cauca* [Proyecto de grado]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/21118>

Consejo Municipal para la Gestión Del Riesgo de Desastres. (2012, 23 de julio). *Plan municipal para la gestión del riesgo de desastres*. Municipio de Purace – COCONUCO. CMGRD. <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/441/PMGR%20Purace.pdf?sequence=1>

Cotes, J. y Núñez, C. (2001). Evaluación de dos tipos de esquejes en la producción de semilla prebásica de papa criolla (*Solanum Phureja Juz et Buk*) variedad “yema de huevo”. *Agronomía Colombiana*, 18(1-2), 71-77. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/21709/22694>

Fedepapa. (2017, agosto). *Boletín mensual regional n.º 05*. Departamento de Sistemas de Información y Estudios Económicos- Fondo Nacional de Fomento de la Papa. <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2017/01/BOLETINREGIONALCAUCA5.pdf>

Santamaría-Galindo, M., Montañéz-Gómez, J. y Sánchez-Polo, R. R. (2010). Evaluación de la producción limpia de papa criolla (*Solanum phureja*) en Madrid, Cundinamarca. *IN-VENTUM*, 5(9), 8-12. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.5.9.2010.8-12>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). *La producción de papa en 2018 podría llegar 2 millones 690 mil toneladas*. <https://n9.cl/l11u2>

Román, M. y Hurtado, G. (2002). *Guía técnica cultivo de la papa*. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal.

## 2.9 EL PLAN DE ACCIÓN INSTITUCIONAL 2020-2023, DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ALTO MAGDALENA (CAM), HUILA, TERRITORIO DE VIDA, SOSTENIBILIDAD Y DESARROLLO, ¿REALIDAD O UTOPIA?

---

William Ignacio Montealegre Torres

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

---

### RESUMEN

La normatividad colombiana exige a las corporaciones autónomas regionales, formular su Plan de Acción Institucional (PAI) para cada nueva administración, en el que, a su vez, se desarrolle el plan de gestión ambiental Regional (PGAR), en armonía con la nueva normatividad, los convenios internacionales y los planes de desarrollo del departamento. La Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) ha presentado a la sociedad su plan de acción institucional 2020 – 2023, denominado “Huila, territorio de vida, sostenibilidad y desarrollo”, que amerita un análisis desde la academia para su conocimiento, difusión, reflexión y comentarios, a la luz de la normatividad vigente, de la realidad del territorio social y de las aspiraciones de sus dirigidos. La planificación ambiental se define como un proceso dinámico de planificación del desarrollo sostenible, que permite a una región orientar de manera coordinada el manejo, administración y aprovechamiento de sus recursos naturales renovables, para contribuir a la consolidación de alternativas de desarrollo sostenible en el corto, mediano y largo plazo, acordes con las características y dinámicas biofísicas, económicas, sociales y culturales. Entonces, la pregunta sería, ¿el PAI 2020 – 2023 cumple las expectativas – objetivos y metas planteadas en el PGAR 2011-2023? El departamento del Huila en su conjunto, sociedad y territorio, debe direccionar sus esfuerzos hacia un proceso de cultura social, a partir del reconocimiento del entorno, de sus ecosistemas como fuente primaria del conocimiento de la diversidad biológica como su fuente de sosten-

to, para permitirle a esta y a las próximas generaciones el derecho fundamental a un ambiente sano. Este artículo pretende analizar, desde la academia, lo que plantea el PAI de la CAM actual, desde el contexto social y territorial, si es realidad o una utopía. Se analizan, desde el entorno, la normatividad ambiental vigente, que es extensa y variada, el PGAR, el plan de desarrollo “Huila vive” y el PAI CAM.

***Palabras clave: planificación ambiental, desarrollo sostenible, plan de acción institucional, articulación, calidad de vida, utopía.***

## ABSTRACT

Colombian regulations require Regional Autonomous Corporations to formulate their Institutional Action Plan (PAI), for each new administration, to develop the Regional Environmental Management Plan (PGAR), in harmony with the new regulations, international agreements and plans. development department. The Alto Magdalena Regional Autonomous Corporation (CAM), has presented to society its institutional action plan 2020-2023, called “Huila, territory of life, sustainability and development”, which deserves an analysis, from the academy, for its knowledge, dissemination, analysis and comments, in the light of current regulations, the reality of the social territory and the aspirations of those directed. Environmental planning is defined as a dynamic process of sustainable development planning, which allows a region to guide in a coordinated way the management, administration and use of its renewable natural resources, to contribute from the environmental point of view, to the consolidation of sustainable development alternatives. in the short, medium and long term, according to the characteristics and biophysical, economic, social and cultural dynamics. Does the PAI 2020-2023 meet the expectations - objectives and goals set out in the PGAR 2011-2023? The department of Huila as a whole, society and territory, must direct its efforts towards a process of social culture, based on the recognition of the environment, its ecosystems as a primary source of knowledge of biological diversity as its source of sustenance, to allow it to this and to the next generations the fundamental right to a healthy environment. The objective of the article is to analyze, from the academy, what the PAI of the current CAM raises, from the social and territorial context, if it is reality or a utopia. The current environmental regulations, which are extensive and varied, the PGAR, the “Huila vive” development plan and the PAI CAM are analyzed from the environment.

***Keywords: environmental planning, sustainable development, institutional action plan, articulation, quality of life, utopia.***

## INTRODUCCIÓN

La Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), ha presentado a la sociedad su plan de acción institucional 2020 – 2023, denominado “Huila, territorio de vida, sostenibilidad y desarrollo”, que amerita un artículo para su conocimiento, difusión, análisis y comentarios, a la luz de la normatividad vigente, de la realidad y de las aspiraciones de sus dirigidos.

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), Decreto 1200 de 2004, Art. 1, define la planificación ambiental como

“un proceso dinámico de planificación del desarrollo sostenible, que permite a una región orientar de manera coordinada el manejo, administración y aprovechamiento de sus recursos naturales renovables, para contribuir desde lo ambiental, a la consolidación de alternativas de desarrollo sostenible en el corto, mediano y largo plazo, acordes con las características y dinámicas biofísicas, económicas, sociales y culturales”.

El artículo 79 de la Constitución Nacional establece el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano y a la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarla. Igualmente establece para el Estado, entre otros, el deber de proteger la diversidad e integridad del ambiente. En la misma dirección, el artículo 209 establece que la función administrativa está al servicio de los intereses generales y se desarrolla con fundamento en los principios de igualdad, moralidad, eficacia, economía, celeridad, imparcialidad y publicidad; también señala que las autoridades administrativas deben coordinar sus actuaciones para el adecuado cumplimiento de los fines del Estado.

La Ley 99 de 1993 establece, en el Artículo 23, que la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) es un ente corporativo de carácter público, creado por la ley, dotado de autonomía administrativa y financiera, patrimonio propio y personería jurídica, encargado por la ley de administrar dentro del departamento del Huila el medio ambiente y los recursos naturales renovables y propender por su desarrollo sostenible, de conformidad con las disposiciones legales y políticas del Ministerio de Ambiente. La misión que se ha planteado la corporación es la de

“Liderar en el departamento del Huila, una relación sociedad-naturaleza, que garantice a las presentes y futuras generaciones la base de recursos naturales necesaria para sustentar el desarrollo regional y contribuir a la supervivencia del planeta. Con este propósito se ejecuta la Política

.....  
 Ambiental bajo criterios de sostenibilidad, equidad y participación ciudadana con el fin de administrar eficientemente el medio ambiente y los recursos naturales renovables” (CAM, 2020).  
 .....

La Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), máxima autoridad ambiental en el departamento del Huila, ha presentado a la sociedad y al consejo directivo su plan de acción institucional 2020 – 2023, denominado “Huila, territorio de vida, sostenibilidad y desarrollo”, que para su ejecución presenta cuatro programas distribuidos en diez proyectos. Las líneas estratégicas de la autoridad ambiental para los próximos cuatro años involucran la gestión y conservación de la riqueza natural, el desarrollo sectorial productivo, el desarrollo territorial sostenible y la institucionalidad ambiental moderna.

---

## MATERIALES Y MÉTODOS

Expone en el PAI, el director general de la CAM, Ingeniero Agrónomo, Camilo Augusto Agudelo Perdomo: el primer eje estratégico tiene que ver con la conservación de la riqueza natural del departamento.

.....  
 “Como sociedad debemos entender que existe una estructura ecológica que tenemos que proteger. Allí están involucradas nuestras áreas protegidas, los parques naturales regionales, los distritos regionales de manejo integrado, las reservas naturales de la sociedad civil, la protección de ecosistemas importantes como los páramos, humedales y el bosque seco tropical; es decir, conservar la biodiversidad y nuestra riqueza natural” (CAM, 2020).  
 .....

El otro elemento asociado a este programa tiene que ver con el recurso hídrico como principio de la gestión ambiental para el desarrollo productivo y el consumo humano. Aquí se involucra la conservación de las cuencas hidrográficas, la ejecución de los POMCAS, los Planes de Manejo Ambiental, la recuperación de las cuencas y la protección del recurso agua en términos de calidad cantidad.

El segundo programa está relacionado con el Desarrollo Sectorial Productivo Sostenible, el cual se enfoca en que los renglones de la economía del departamento mejoran sus procesos de producción acudiendo a la sostenibilidad y a la armonía con el medio ambiente. Aquí se busca ampliar la producción sostenible con el sector cafetero, caotero, ganadero, piscicultor, minero, entre otros.

El tercer programa es el Desarrollo Territorial Sostenible y Adaptación al Cambio Climático. Este eje estratégico involucra un trabajo articulado con los municipios para lograr un modelo de ordenamiento y uso del territorio de manera planificada y ordenada, protegiendo los valores ambientales del departamento.

Se incluyó una dimensión especial de cambio climático. Tenemos claro que hoy una de las principales amenazas y afectaciones que tenemos como sociedad es el cambio climático, por eso a partir de estos elementos debemos construir las capacidades de adaptación.

El cuarto eje del Plan de Acción se denomina Institución Ambiental Moderna y Generación de Capacidades. Aquí se involucra el ejercicio de autoridad ambiental, el fortalecimiento institucional para la gestión ambiental y la educación ambiental.

“El programa de modernización institucional tiene que ser suficientemente fuerte para que las otras acciones funcionen de manera adecuada. Aquí también se involucra el ejercicio de autoridad ambiental y queremos que todo lo relacionado al control y vigilancia se haga de manera efectiva” (CAM, 2020).

Obedece a la normatividad, a la Ley 99 de 1993, los decretos 1200 de 2004, 1963 de 2008, compilados en el Decreto 1076 de 2015, donde se determinan los instrumentos de planificación ambiental, entre ellos el Plan de Gestión Regional (PGAR), el Plan de Acción Institucional (PAI) y el Presupuesto Anual de Rentas y Gastos (PARG). El PGAR de largo plazo, mínimo diez años y el PAI para una administración, actualmente para cuatro años 2020-2023.

El plan de acción institucional (PAI) es el instrumento de planeación en el cual se concreta el compromiso para el logro de los objetivos y metas planteadas en el PGAR. El actual PGAR CAM 2011 – 2023 debe cumplir los compromisos adquiridos, objetivos y metas, en 2011, además de incorporar diversos elementos normativos incluidos en este periodo de tiempo, que es variada y sustantiva.

La visión PGAR CAM: en el 2023 el departamento del Huila se convertirá en un modelo de sostenibilidad ambiental, tanto a nivel nacional como internacional, con un crecimiento económico en armonía con el mantenimiento y conservación de los bienes y servicios ambientales, contribuyendo al mejoramiento del medio ambiente mundial y la calidad de vida de la población. La pregunta a resolver es: ¿El PAI 2020-2023 cumple las expectativas, objetivos y metas planteadas en el PGAR 2011-2023?

El artículo 1.5: estrategias de articulación, presenta en el contexto internacional, los convenios y protocolos, convertidos en política nacional, como los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), cambio climático, ingreso de Colombia a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE).

El artículo 1.7: normas y políticas ambientales nacionales describe los desarrollos normativos de obligatorio acatamiento, entre ellos la Ley 1931 de 2018 sobre cambio climático, la Ley 1930 de 2018 sobre gestión integral de los páramos, la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) 2010, Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE) 2012, Política Nacional para Humedales Interiores, Política de Gestión del Riesgo de Usos de Sustancias Químicas 2016, Política de Gestión Ambiental Urbana 2008, Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible –Hacia una cultura de consumo sostenible y transformación productiva, (MAVDT), 2010, Política Nacional de Cambio Climático 2017, el Plan Nacional de Desarrollo Forestal 2011, Plan Nacional de Restauración (restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas) (MADS) 2015, entre otras.

Otros instrumentos de política que se consideran en el PAI 2020-2023, sin que se constituya en una relación taxativa son los CONPES, entre ellos: 3762 de 2013, Planes nacionales PINES, 3870 de 2016 Planes de ordenamiento territorial modernos, 3918 de 2018 Implementación de los ODS, 3810 de 2014 Suministro agua potable y saneamiento básico zona rural, 3680 de 2010 Consolidación áreas protegidas, 3886 de 2017 Pago por servicios ambientales para construcción de la paz, 3915 de 2018 Desarrollo del macizo colombiano, 3550 de 2008 Lineamientos para la formulación de la política integral de salud ambiental con énfasis en los componentes de calidad de aire, calidad de agua y seguridad química, 3718 de 2012 De espacio público, 3943 de 2018 Mejoramiento de la calidad del aire, 3819 de 2014 Para consolidar el sistema de ciudades en Colombia, 3874 de 2016 Gestión integral de residuos sólidos, 3850 de 2015 Fondo Colombia en paz, 3931 de 2018 Política nacional para la reincorporación social y económica de ex-integrantes de las FARC-EP, 3934 de 2018 Política de crecimiento verde, 3700 de 2011 Estrategia de cambio climático (CAM, 2020).

Esta articulación depende de los actores sociales al entrelazar objetivos y metas con identidad en el Plan de Desarrollo Nacional Pacto Por Colombia, Pacto por la Equidad, hasta el 2022, el Plan de Desarrollo departamental “Huila Crece”, con la visión “Huila 2050”, y desarrollar o ejecutar lo faltante del Plan de Gestión Ambiental Regional (PGAR) 2011-2023, para consolidar el liderazgo y ser modelo de sostenibilidad en el 2023.

Un análisis detallado requiere la participación de las CAR en el cumplimiento del Acuerdo Final suscrito entre el Estado Colombiano y las FARC – EP, en concordancia con los desarrollos de las otras instituciones y organizaciones, por cuanto, además de contener una reforma rural integral, en armonía con el medio ambiente y los recursos naturales renovables, se establecen metas y compromisos en materia de reconversión y restauración de áreas o zonas que han sido afectadas por la producción de cultivos ilícitos, la implementación de proyectos de productivos ambientalmente sostenibles, y las opciones de generación de ingresos e incentivos para las comunidades internas que colinden o vivan en áreas de manejo ambiental especial, de acuerdo a las restricciones ambientales y la aptitud de uso del suelo (CAM, 2020).

El departamento del Huila, creado en 1905 segregado del Tolima grande, se ubica geoestratégicamente en la zona andina, en la zona sur del país, cuenta con jurisdicción desde los 386 m.s.n.m. en el desierto de la Tatacoa a 35°C hasta los 5 365 m.s.n.m., a bajo 0 o C en el Nevado del Huila, máxima altura de la cordillera Central. En escasos cuarenta kilómetros de longitud, se ha subdividido en cuatro grandes regiones: el valle del Magdalena, el Macizo Colombiano, la Cordillera Oriental y la Cordillera Occidental; posee jurisdicción sobre cinco Parques Nacionales Naturales, Nevado del Huila, Puracé, Churumbelos Auka–Wasi, Cueva de los Guácharos y Sumapaz; y sobre la zona amortiguadora del PNN Los Picachos. Ha creado seis Parques Nacionales Regionales: Corredor Biológico Guácharos – Puracé, Cerro Páramo de Miraflores, La Siberia – Ceibas, Serranía de Minas, Páramo de las Oseras y El Dorado; y cuatro Distritos Regionales de Manejo Integrado (DRMI) denominados La Tatacoa, Serranía de Peñas Blancas, Serranía de Minas y Cerro Banderas Ojo Blanco; declarados y administrados por la autoridad ambiental regional (CAM, 2020).

El Huila, gracias a su ubicación entre las Cordilleras Central y Oriental formando la cuenca alta del río Magdalena, cuenta con gran diversidad de zonas de vida y ecosistemas que ofrecen invaluable, innumerables e importantes servicios ambientales que van desde el muy seco tropical en la Ecorregión de la Tatacoa, hasta los Bosques Andino y Alto Andinos de las cordilleras central y oriental.

Confluyen 13 zonas distintas de vida de las 24 definidas por Holdrige (1967) para Colombia, es decir el 54 % del total nacional, a pesar de que solo abarca el 1,7 % de la extensión. En estas zonas de vida se encuentran 31 ecosistemas diferentes, distribuidos en 7 tipos corológicos: altiplano cundiboyacense y alrededores, Macizo de Garzón - Parte Alta y Húmeda, Macizo de Garzón - Parte Baja Vertiente Occidental, Enclave seco de la Tatacoa, Valle del Río Magdalena Alto, Cordillera Central - Páramos y bosques alto andinos, y Cordillera Central - Bosques andinos.

El área en cobertura boscosa del departamento se estima en 785 655 ha, que corresponde al 42,5 % del área total, con ecosistemas incluidos entre los de mayor biodiversidad, que sustentan el área destinada para la producción de bienes y servicios ambientales, el desarrollo regional, el bienestar y calidad de vida de la población huilense, aporte necesario e importante para la estabilidad ambiental de la cuenca del Río grande de la Magdalena, la arteria fluvial más importante de Colombia.

El departamento cuenta con dos represas, Betania y El Quimbo. El embalse de Betania es receptor de una carga de sedimentos en suspensión del orden de 17 100 000 Ton/año. En la estación hidrométrica La Angostura, donde entrega la totalidad de estas aguas al Tolima, sobre el río Magdalena, en cantidad de 638,82 m<sup>3</sup>/seg (año hidrológico medio), de los cuales 546 m<sup>3</sup>/seg, equivalentes al 85,4 % es caudal generado dentro del territorio huilense para año medio.

El departamento del Huila limita por el norte con los departamentos de Cundinamarca y Tolima, por el oriente con Caquetá y Meta, por el sur con el Cauca y por el occidente con Tolima y Cauca. Cuenta con una extensión de 19 890 km<sup>2</sup>, y está dividido en 37 municipios. Tiene una población de 1 009 548 habitantes (DANE 2019), 60 % en el área urbana y 40 % en la rural; y participa con el 2,29 % de la población total del país.

---

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A modo de síntesis, el paraíso en la tierra. Todos los climas, ubicación privilegiada, en el centro del país, con vías para cualquier región, con recursos naturales renovables y no renovables, aeropuertos, gente buena y sencilla, trabajadora, con diversidad de culturas.

Si se ha cumplido en el papel con todos los protocolos, entonces ¿por qué media Huila se inunda, huilenses desplazados, otros viviendo en el exterior? Según el Plan de desarrollo Huila Crece, 2020-2023, pobreza subjetiva del 34,8; 85,1 acueducto, 68,8 alcantarillado, recolección basuras 68,3, internet 25,9, NBI 32,6 %, con algunos municipios en 64 % de NBI, Acevedo y Colombia. El 21,80 % de la población de las zonas rurales del departamento se encuentran en la línea de pobreza o menos. En el PIB departamental, el sector administración pública y defensa es el que más peso tiene con un 18,6 %, seguido de agricultura, ganadería y pesca con 17,9 %; y en tercer lugar se encuentra el sector comercio, hoteles y reparación con una participación del 17,3 % en toda la geografía regional.

¿Por qué cerca de la mitad (48 %) del territorio departamental presenta conflicto por uso del suelo (CAM, 2020) y la tercera parte del conflicto corresponde a conflicto alto, el cual se halla asociado al cambio de uso del suelo, transformando ecosistemas naturales principalmente para ganadería y establecimiento de cultivos agrícolas? ¿Por qué a nivel local, regional, nacional, mundial, crece la población en niveles de pobreza y de miseria, las guerras, el cambio climático, las crisis económicas, las crisis sanitarias, los desequilibrios económicos, sociales, ambientales?

La crítica que se hace a estos planteamientos es que el plan se ha basado en un mal diagnóstico. En las mesas de concertación, la comunidad quiere ver que su proyecto local quede establecido en el plan. La síntesis ambiental del PAI 2020-2023 retoma los problemas ambientales del PGAR 2011 – 2023, que establece, luego de analizar la información técnica disponible, que los problemas ambientales más importantes del departamento del Huila tienen que ver con pérdida y fragmentación de ecosistemas estratégicos y de la diversidad biológica; disminución de la calidad y cantidad de los recursos hídricos superficiales; desarrollo de prácticas productivas en forma insostenible e incompatible con el ambiente y el entorno; incremento de la ocurrencia de fenómenos naturales que amenazan y ponen en riesgo a la población; afectaciones urbanas relacionadas con ruido, inadecuado uso del suelo, contaminación y asentamientos en zonas de riesgo; falta de autoridad ambiental y alta incidencia de infracciones a la normatividad ambiental. Confunden causas con efectos, con consecuencias. Ese es el principio del error.

Se requiere un debate abierto, participativo, con conocimiento de causa, argumentativo, propositivo, proactivo, sobre cómo alcanzar la sostenibilidad. Aspectos o variables de evidencia o parámetros de calidad de vida como son la salud, el agua apta para consumo humano, la vivienda digna, la educación gratuita y para todos, la alimentación adecuada y oportuna para todos, no se ven representados ni son prioritarios en la ejecución de los diversos planes de desarrollo y están subordinados a los intereses electorales. La pobreza aumenta y con ello la violencia, en un departamento que ha sido ocupado por migrantes de las diferentes épocas de la violencia.

El departamento se ha diseñado por las actuales administraciones para girar alrededor de los productos tipo exportación, con el propósito de mejorar el PIB, con base en la explotación de los recursos naturales renovables y no renovables, sin tener en cuenta el diagnóstico biofísico natural existente y los principios de la seguridad alimentaria.

La llegada de inversión extranjera y de tecnología variada, se ha convertido en una obsesión de los mandatarios, que adquieren y consumen, más y más recursos naturales renovables, agua, bosque, madera, alimentos, fauna silvestre, acciones que contaminan el aire. La

sociedad de consumo estimula a cada segundo el gasto de derivados del petróleo, hierro, aluminio, carbón, entre muchos otros, que generan residuos no biodegradables, generando contaminación ambiental de todos los órdenes, desde lo local a lo global.

Los procesos de reciclaje o reuso, son mínimos y aparecen por voluntad individual de dirigentes locales. Se ha generalizado el concepto de cambio, de estrenar, en detrimento de la mano de obra experta en la reparación o el arreglo de múltiples utensilios y herramientas; se ha popularizado lo desechable, por su presunta comodidad alterando el orden lógico de una cultura “hacia adentro”, nuestra, de cuidarnos unos a otros, prefiriendo los plásticos de todo orden y de un solo uso, el ladrillo a la madera o guadua, la moto al caballo, el pocillo a la totuma y otros elementos no biodegradables, sin medir ni diseñar la huella ambiental de su manejo posconsumo.

Existe normatividad esparcida para todas las actividades y competencias, sin un eje rector ni una autoridad que ejerza el control y seguimiento al cumplimiento de estas obligaciones, desde la casa. En 2020 terminaría la vida útil de la planta de manejo integral de residuos sólidos biorgánicos del sur, que por más de veinte años le enseñó al país la práctica útil del manejo de los residuos sólidos en la parte alta del río grande de la Magdalena, por la ausencia total de voluntad política de los dirigentes locales o su ignorancia arrogante. Quedará en el Huila una sola alternativa, el relleno sanitario Los Ángeles, en Neiva, muy cerca del DRMI Tatacoa. Sin reciclaje en la fuente, sin reuso, de empresarios foráneos.

El Huila posee dos represas generadoras de energía eléctrica para exportar, despojando de tierra fértil, desplazando agricultores y obligando a altos costos de consumo de los hogares regionales. La mayor cantidad de estos recursos se direccionan a las grandes ciudades y empresas, olvidando a las comunidades rurales dispersas o haciendo mucho más oneroso el servicio, propiciando que estas comunidades tengan que recurrir al bosque para suplir la necesidad de energía para cocinar sus alimentos, aumentando la diferencia entre el campo y la ciudad, con las consecuencias de desigualdad social, económica y de violencia.

El uso del suelo en el Huila con alto grado de conflicto, causado por el uso en ganadería y café, en lo agrícola y en piscicultura de mojarra (que es invasora y de otra región) contradice el discurso del desarrollo sostenible y del manejo integral de los recursos naturales. Se observan escenarios de poder, de una clase dirigente comprometida con estos gremios y sectores, en detrimento de los derechos de igualdad y de manejo adecuado para garantizar los derechos de las próximas generaciones, es decir de los que no han nacido.

Grandes problemas no resueltos tenemos con la generación actual. Así mismo, no se le está dando tiempo a la tierra para recuperarse de la sobreexplotación de que ha sido objeto, donde se ha cambiado el uso del suelo forestal, se han salinizado gran parte de los suelos de terrenos planos (arroz) y se avanza hacia la formación de nuevos desiertos antrópicos. El distrito de manejo integral (DRMI) la Tatacoa requiere de un programa que permita sugerir la disminución de ese fenómeno de desertificación progresiva en el centro del país.

El río grande de la Magdalena ya no resiste más vertimientos. Sus afluentes se han convertido en sitios de disposición final de residuos líquidos y sólidos, perdiendo su magnificencia, su importancia para la supervivencia, para la vida; las laderas se erosionan y empobrecen y se vuelven menos cultivables, más exigentes de fertilizantes externos; el aire que se respira es cada día más dudoso en su calidad; las especies faunísticas y florísticas, aún sin un inventario en detalle, corren el riesgo cierto de desaparecer o extinguir. Se requiere un estudio cada día más en detalle de los aportes de los llamados rastrojos o regeneración natural.

Con todas las noticias propias y externas, con todas las experiencias comprobadas en el entorno y no se aprende, es decir, no se concientiza. Se requieren acciones correctivas, mitigaciones educacionales, minimización o amortiguación para los daños ambientales que diariamente se están causando. El modelo educativo, el plan de educación ambiental regional y local, debe ser estructurado con participación directa de la comunidad, que solucione problemas de conocimiento, de apropiación social, de la gestión de ese conocimiento, a corto, mediano y largo plazo, medible y cuantificable, que integre a todos sus actores sociales.

Se siguen realizando diagnósticos, identificación de causas y efectos, planes, programas, propuestas de mejoramiento. La tarea es identificar las acciones que generen equilibrios, verdaderamente sostenibles y adecuadas. Priorizar en el tiempo su solución.

Frenar la carrera de consumismo en la que ha caído esta generación, mucho mayor que generaciones anteriores, a pesar de la deficiencia o carencia de recursos de la región. En el sector rural se observan televisores de plasma en casas con pisos en tierra. Todos quieren construir o que les construyan las vías hasta la vivienda, ya tienen moto, olvidando la generación de empleo y cultura de los arrieros, por ejemplo. A los centros urbanos de mayor población, al poseer mayor número de votantes, se adjudican los mayores presupuestos.

Por eso, la propuesta del desarrollo sostenible o sustentable, se convierte en una ilusión o distractor, que no se alcanzará si no cambian la imposición de los criterios ambientales economistas, en lo que respecta a la equidad, igualdad o equilibrio, desde lo ambiental, económico, social y cultural.

Es un buen inicio, el imaginarnos generar conciencia ambiental. Un primer debate puede ser qué es conciencia ambiental, sus características, como el propio reconocimiento argumentativo, valoración en todos sus aspectos y la interacción y dependencia de cada uno de los recursos naturales renovables, su uso y manejo adecuado, la generación in situ y ex situ de la educación ambiental aplicada y por supuesto, el reciclaje, reúso, disposición final de residuos sólidos, líquidos y gaseosos, desde el hogar a lo global.

Es una utopía, en una sociedad que elige dirigencia que pregona acciones, actividades, proyectos, programas y planes ambientales, pero que auspicia, motiva, propone, construir carreteras, servicios públicos, en áreas protegidas o apoya a sectores económicos con alto grado de conflicto por uso del suelo y del agua.

---

## CONCLUSIONES

La situación del manejo ambiental en el departamento del Huila, es de manejo político. Hay acuerdo en la necesidad de la defensa del medio ambiente, pero cada uno defiende sus propios intereses.

El Huila lo tiene todo, para consolidar una región ordenada, obedeciendo sus propios intereses, idealizando la soberanía alimentaria como un eje rector, abriéndole campo al campo.

El Huila debería prepararse para un cambio cultural. Diagnosticar con precisión y priorizar los problemas, con participación comunitaria, en un amplio espacio de debate propositivo y educar para la creatividad social, ambiental, cultural, lo cual requiere del reconocimiento del territorio, de los ecosistemas, de la construcción de una cultura resiliente, adaptativa. La participación de la comunidad en estructurar su propio desarrollo, en una sociedad tan compleja y biodiversa.

La desigualdad, inequidad, subdesarrollo, se debe a una mala distribución de los recursos, no a la falta de ellos. Es la autoridad ambiental quien debe imponerse a los intereses personales mediante la reflexión y el llamado al cumplimiento de los objetivos del milenio. Demostrar su liderazgo.

Esa disyunción entre aprobar la ley, aceptarla y aplicarla, debe asumirla la academia. Desde el preescolar hasta el doctorado, pasando por el colegio, la universidad, la escuela de ciencias, la conferencia, el foro, el debate, la reunión, la asamblea.

Asumir el reto de volver una realidad individual el afán de las cumbres ambientales de jefes de Estado, mediante el debate académico, la discusión abierta sobre la educación que queremos y necesitamos.

Una mejor educación, dirigida a solucionar los problemas reales, de fondo, desde el entorno, con capacidad de liderazgo, con ejemplos prácticos. Por un mundo sin contaminación, con producción limpia, sin desastres ni riesgos, organizados comunitariamente, ocupando espacios de participación comunitaria aprobados por ley. Acompañan esta tarea magna, las tecnologías de la información y la comunicación, para disminuir distancias y acercar conocimientos, ideales, metodologías. Es posible ese mundo que soñamos y nos merecemos.

Se espera el desarrollo del cuarto componente Institución Ambiental Moderna y Generación de Capacidades. Una reestructuración administrativa interna que empodere a los funcionarios como los gestores del desarrollo desde lo ambiental y que refuerce los valores del ser humano, empezando, desde luego, con descifrar los protocolos de la solidaridad, del trabajo en equipo.

“Cambiemos nosotros, para no cambiar el clima”.

---

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), sus funcionarios y director General Camilo Augusto Agudelo, por la autorización y apoyo. A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) CCAV Pitalito, por el apoyo en la contextualización y manejo de metodologías.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Congreso de Colombia. (1993, 22 de diciembre). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. [Ley 99 de 1993]. DO: 41.146.

Constitución Política de Colombia (1991). República de Colombia.

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM). (2011). *Plan de gestión ambiental regional del departamento del Huila 2011-2023*. CAM.

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM). (2020). *Plan de acción institucional 2020-2023. Huila, territorio de vida, sostenibilidad y desarrollo*. CAM. **[http://cam.gov.co/images/documents/phocadownload/entidad/Planes/PRELIMINAR\\_PLAN\\_DE\\_ACCION\\_2020-2023\\_2.pdf](http://cam.gov.co/images/documents/phocadownload/entidad/Planes/PRELIMINAR_PLAN_DE_ACCION_2020-2023_2.pdf)**

DANE – Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2019). Ficha de Caracterización DPN 2019 Huila. **[http://sirhuila.gov.co/images/sirhuila/SIR\\_2019/FICHAS\\_DE\\_CHARACTERIZACION\\_2019/1\\_Huila.pdf](http://sirhuila.gov.co/images/sirhuila/SIR_2019/FICHAS_DE_CHARACTERIZACION_2019/1_Huila.pdf)**

Gobernación del Huila. (2020). *Plan de desarrollo departamental 2020-2023 “Huila crece”*. **<https://www.huila.gov.co/documentos/1336/plan-de-desarrollo-2020-2023/>**

Holdridge, L.R. (1967). Life zone ecology. Tropical Science Center, San José, Costa Rica

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). (2004, 20 de abril). Por el cual se determinan los Instrumentos de Planificación Ambiental y se adoptan otras disposiciones [Decreto 1200 de 2004]. DO: 45.526.



## **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)



978-958-651-821-5