



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.

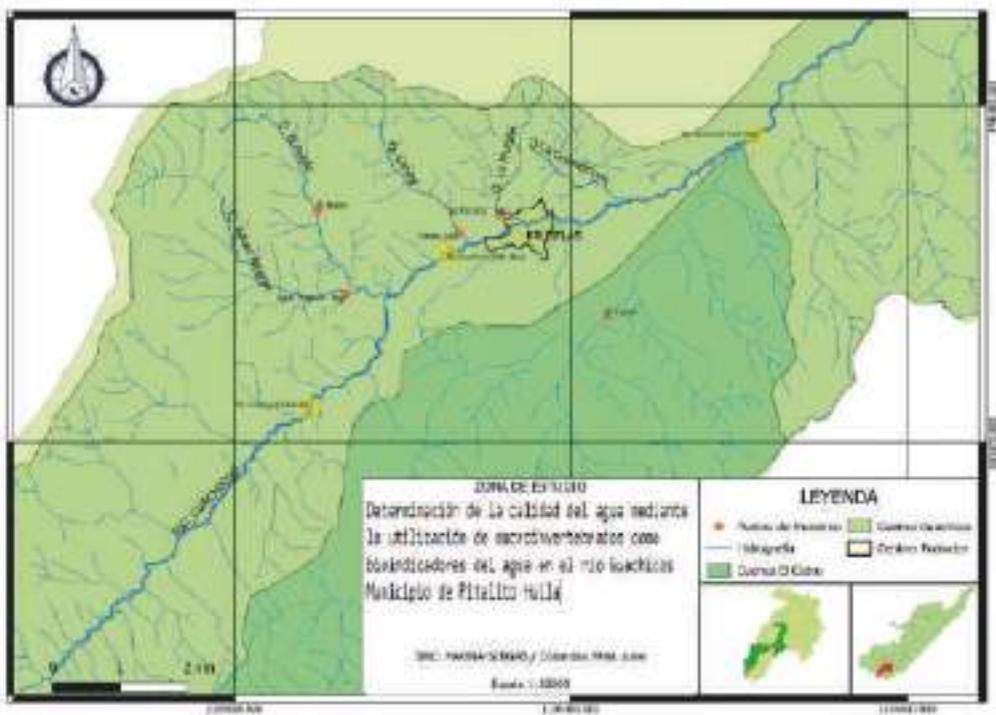
En este trabajo se presenta la investigación desarrollada en los años 2018 y 2019 por investigadores del grupo INYUMACIZO, consolidando proyectos de investigación financiados por la UNAD (PIES 19 – 2018 y Convocatoria SIGI 06) y trabajos de grado desarrollados por estudiantes del semillero Rosiyé, donde 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 riveras 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* (BMWV/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 m², 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 BMWV/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

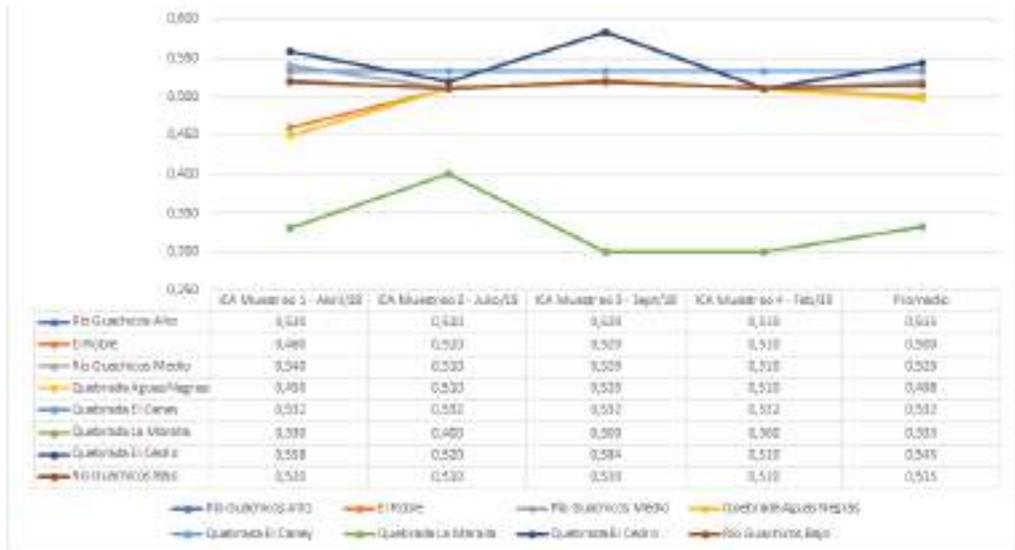
Se realizó un análisis estadístico descriptivo multivariado a partir de matrices de correlación. Todos los análisis se realizaron utilizando el análisis estadístico descriptivo multivariado y el análisis de componentes principales (PCA), haciendo uso del software PAST 3.

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

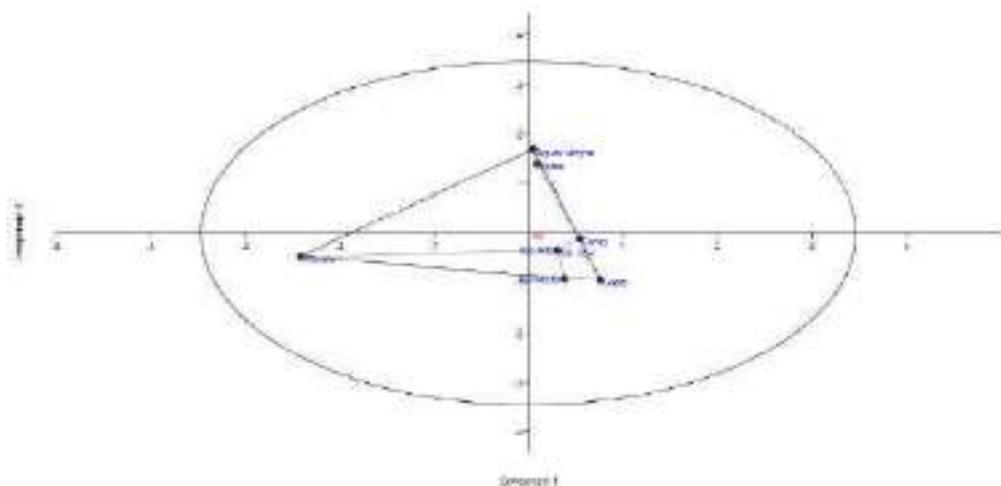


Fuente: elaboración propia.

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 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, teniendo 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.

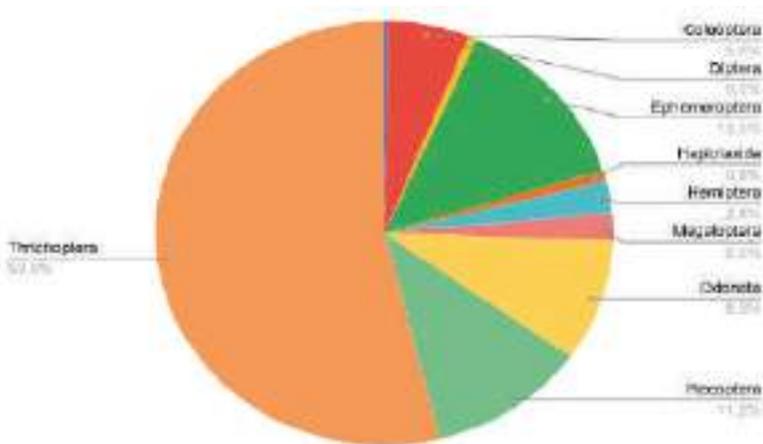
Los resultados de la presente investigación presentan similitudes a los encontrados por Knee y Encalada (2014), que encuentra valores de ICO relacionados a contaminación asociada a las poblaciones urbanas y a la escorrentía resultado de abonamientos de cultivos en las cuencas de la parte alta del Ecuador.

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 %.

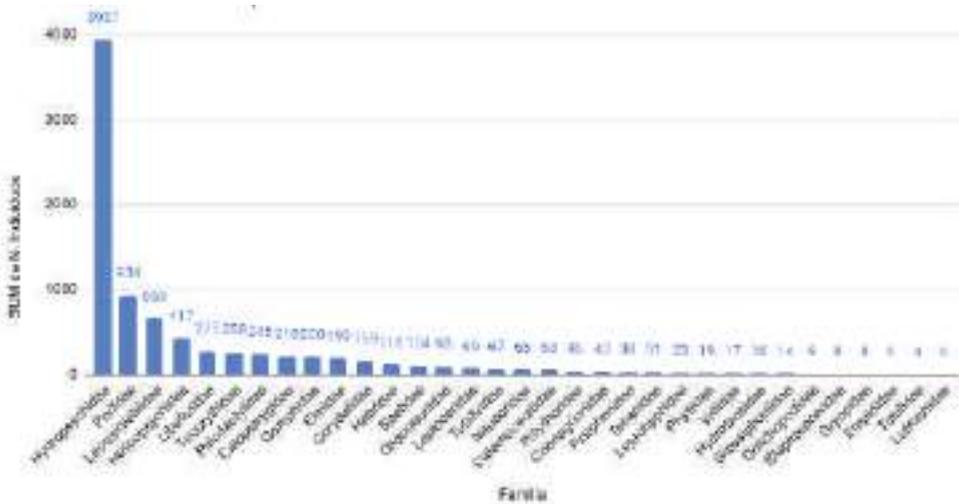
Los valores encontrados coinciden con los resultados de Peña y Cortés (2015), investigación realizada en Pitalito en el 2014, donde los órdenes más abundantes fueron Trichoptera, Odonata y Ephemeroptera y la investigación hecha por el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (2010), donde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

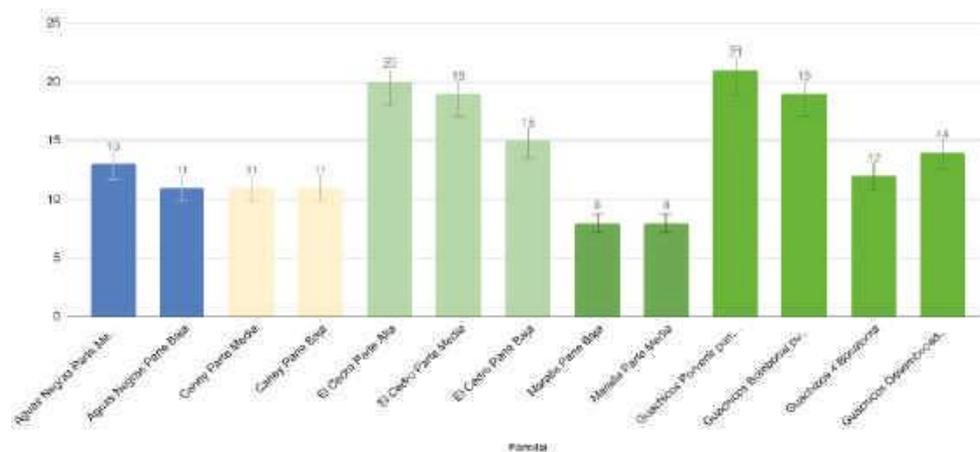
Analizando la abundancia de estas órdenes por la ubicación en las fuentes de agua, se puede concluir para la presente investigación que en las partes altas y medias de la Quebrada El Cedro y el río Guachicos se presenta una buena calidad de agua, que se deteriora cuando se presentan acciones antrópicas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

FIGURA 5. Abundancia de familias encontradas de macroinvertebrados bentónicos



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

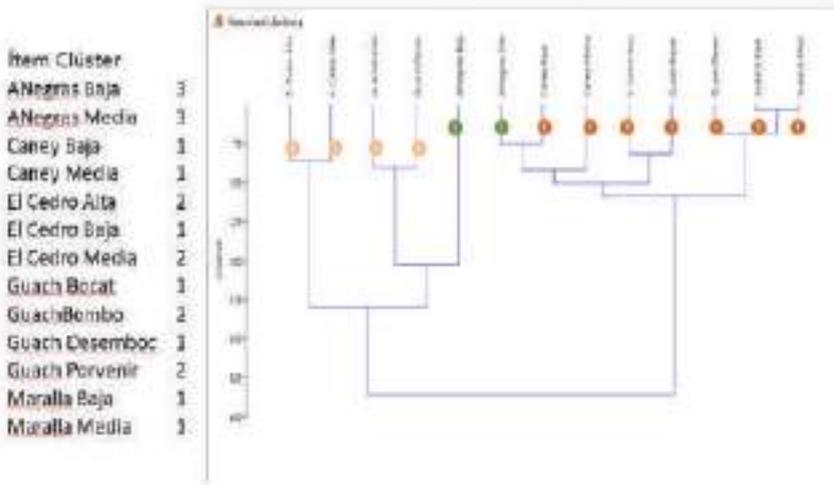
Mes	Guachicos Porvenir punto 1	Guachicos bombonal punto 2	Guachicos 4 bocatoma	Guachicos desembocadura punto 3
Marzo de 2018	114,0	95,0		31,0
Julio de 2018	59,0	86,0		0,0
Agosto de 2018	124,0	121,0		0,0
Septiembre de 2018	113,0	114,0		34,0
Mayo de 2019	60,0	68,0		27,0
Junio de 2019	83,0	58,0	55,0	16,0
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
Promedio	96,8	85,2	45,3	20,2

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

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
Tur-biedad 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 (Işıldar *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.

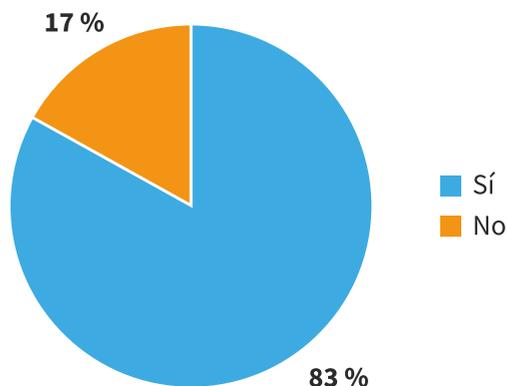
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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-

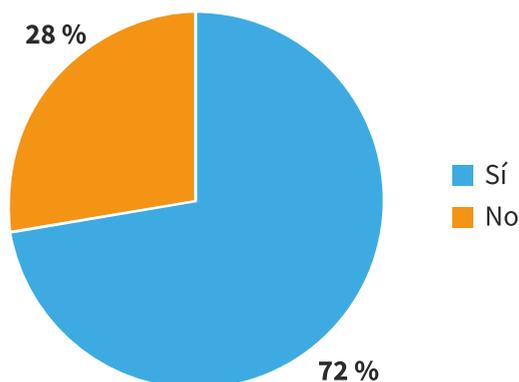
tos con el manejo adecuado del segmento de residuos peligrosos como son los RAEE; un ejemplo de ello se evidencia en la figura 2, pues el porcentaje de estas empresas que hacen recolección y almacenamiento, disminuye en relación a la figura 1.

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



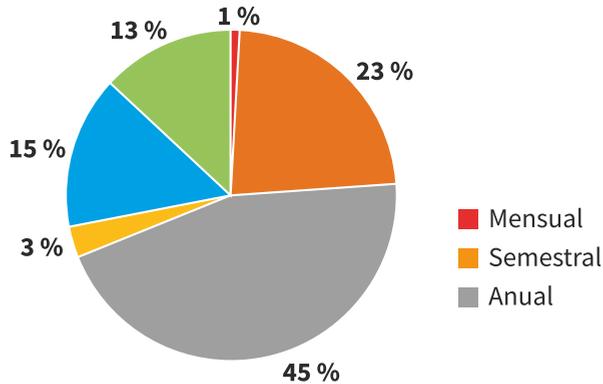
Fuente: elaboración propia.

FIGURA 2. *Recolección y almacenamiento de RAEE*



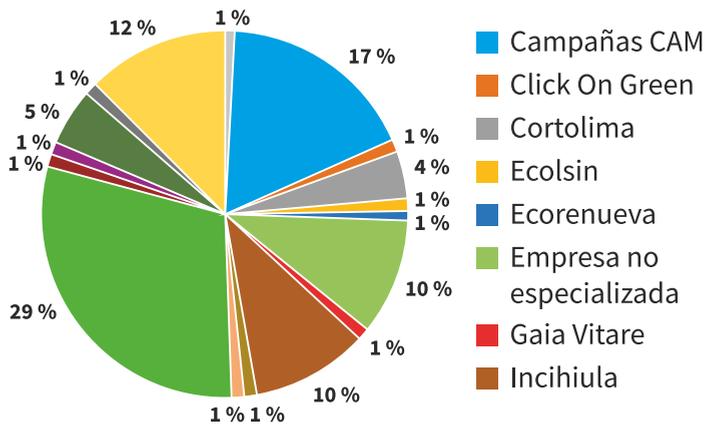
Fuente: elaboración propia.

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
Total				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 Opatatón, 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*. IITEE, 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 (Cm3), 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 (cm³), 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 cm³, 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

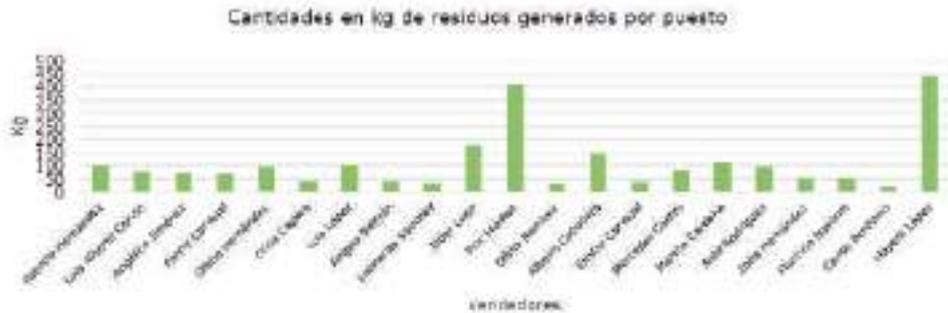
FASE 1

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 expresadas 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		
R. Frutas	4	4,6	3,5	3,2	6	5,8	2,7	3,9	4,4	3,5	41,6	34,67 %
R. Tubérculos	0,5	1	2,4	2	0,9	0,6	0,9	1,2	2	0,8	12,3	10,25 %
R. Legumbres	1,9	2,4	1,1	1,7	0,5	1,8	1,8	2	1,7	1,5	16,4	13,67 %
R. Cereales	1,6	1,3	1,4	0,5	1	0,8	0,9	1,6	1,4	2	12,5	10,42 %
R. Hortalizas de hoja	0,8	1,6	1,7	3,8	2,5	2,1	3,7	1,1	1,2	1,8	20,3	16,92 %
R. Hortalizas de fruto	3,2	1,1	1,9	0,8	1,1	0,9	2	2,2	1,3	2,4	16,9	14,08 %
Total	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

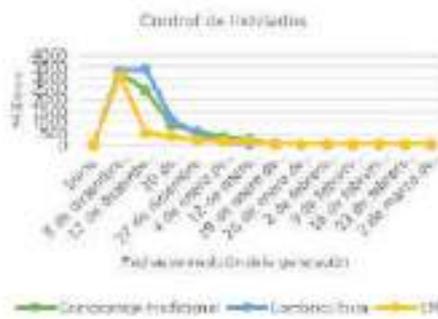


FIGURA 5. Caída de volúmenes en los tres modelos



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

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

Fuente: elaboración propia.

Fuente: elaboración propia.

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

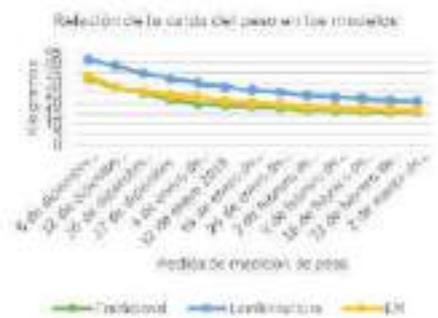


FIGURA 7. Comportamiento de la temperatura (°C) en cada uno de los modelos durante todo el proceso

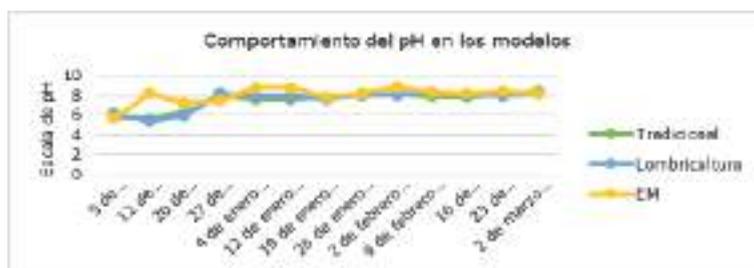


Nota: se observa la relación del peso de le modelo de lombricultura es mayor, esto a partir de la adición de lombriz roja californiana en sustrato de tierra.

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

Fuente: elaboración propia.

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

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