

Vol.2
2019
No.2

Revista Iberoamericana

Ambiente & Sustentabilidad

ISSN: 2697-3510 · e-ISSN: 2697-3529 · DOI: <https://doi.org/10.46380/rias.v2i2>



REVISTA IBEROAMERICANA AMBIENTE & SUSTENTABILIDAD

VOL. 2 No. 2 JULIO-DICIEMBRE 2019 ISSN: 2697-3510 e-ISSN: 2697-3529

DOI: <https://doi.org/10.46380/rias.v2i2>

Los artículos publicados en la *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad* expresan exclusivamente la opinión de sus autores. Los editores no se identifican necesariamente con las opiniones recogidas en la publicación.

Las fotografías o imágenes incluidas en la presente publicación pertenecen a los autores o han sido suministradas por las compañías propietarias de los productos.

Prohibida la reproducción parcial o total de los artículos sin previa autorización y reconocimiento de su origen.

FOTO DE PORTADA

Póster promocional del V Congreso Iberoamericano sobre Ambiente y Sustentabilidad – Ecuador 2019.

CONTACTO

Dirección:

Calle Bolivia e/ Olmedo y Villarroel
Riobamba, Chimborazo, Ecuador

Código Postal: 060104

Teléfono: (+593) 987943762

E-mail:

info@ambiente-sustentabilidad.org

Website:

www.ambiente-sustentabilidad.org



Esta Revista es difundida bajo la Licencia Creative Commons 4.0 de Reconocimiento – No comercial – Compartir Igual, la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra; siempre que se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales, ni se realicen obras derivadas.

EQUIPO EDITORIAL

Directora:

MSc. Sara Yaima Ulloa Bonilla
direccion@ambiente-sustentabilidad.org

Editora ejecutiva:

MSc. Caridad Dailyn López Cruz
edicion@ambiente-sustentabilidad.org

Editores invitados:

PhD. Seidel González Díaz
PhD. Isis Camargo Toribio
invitado@ambiente-sustentabilidad.org

Editores de sección:

PhD. Adrian David Trapero Quintana
Universidad de La Habana, Cuba
PhD. Arturo Andrés Hernández Escobar
Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador
PhD. Reinaldo Demesio Alemán Pérez
Universidad Estatal Amazónica, Ecuador
PhD. Antonio Martínez Puché
Universidad de Alicante, España
PhD. José Antonio Díaz Duque
Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba
PhD. Jesús Armando Martínez Gómez
Universidad Autónoma de Querétaro, México
PhD. Alfredo Domínguez González
Universidad Estatal de Mato Grosso, Brasil
PhD. Isabel María Valdivia Fernández
Universidad de La Habana, Cuba
PhD. Eury José Villalobos Ferrer
Red de Educación, Ciencias Sociales, Ambientales, Tecnología e Innovación, Venezuela
PhD. Clecia Simone Gonçalves Rosa Pacheco
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Brasil
MSc. Yandy Rodríguez Cueto
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Corrección de textos en español:

MSc. Ileana Victoria Salgado Izquierdo

Corrección de textos en inglés:

Lic. Alexander Morales Alfonso

Corrección de textos en portugués:

PhD. Susanne Maria Lima Castrillon



Coordinador de arbitraje:

MSc. Yordanis Gerardo Puerta de Armas
arbitraje@ambiente-sustentabilidad.org

Árbitros:

PhD. Luz María Contreras Velázquez
Universidad Metropolitana, Ecuador
PhD. Carlos Alfredo Bravo Medina
Universidad Estatal Amazónica, Ecuador
MSc. Luis Eugenio Rivera Cervantes
Universidad de Guadalajara, México
MSc. Yoangel Jesu Miranda Agüero
Universidad Agraria de La Habana, Cuba
PhD. Damaris Valero Rivero
Universidad de Sancti Spiritus, Cuba
PhD. Julio Iván González Piedra
Universidad de La Habana, Cuba
PhD. Daniel Roberto Marchetti
Universidad de Buenos Aires, Argentina
PhD. Odette Aportela González
Universidad de La Habana, Cuba
MSc. Marco Andrés Moreno Tapia
GRD Geoconsultores S.A., Perú
PhD. José de Jesús Hernández López
El Colegio de Michoacán, A.C., México
PhD. María Rodríguez Gámez
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
MSc. Antonio Vázquez Pérez
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
PhD. Marta Rosa Muñoz Campos
Universidad de La Habana, Cuba
PhD. Raúl Rodríguez Muñoz
Universidad de Cienfuegos, Cuba
PhD. Amado Batista Mainegra
Universidad de La Habana, Cuba
PhD. Rolando Medina Peña
Universidad Metropolitana, Ecuador
MSc. Sandra Patricia Quiroga Zapata
Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
MSc. Rafael Enrique Corrales Andino
Universidad Nacional Autónoma de Honduras
PhD. Seidel González Díaz
Red Iberoamericana de Medio Ambiente, Cuba
MSc. Katia González Rodríguez
Centro de Servicios Ambientales de Matanzas, Cuba
MSc. Alexander Calero Hurtado
Universidade Estadual Paulista "J. Mesquita Filho", Brasil

PhD. Arturo Rúa de Cabo
Universidad de La Habana, Cuba
PhD. Raquel de la Cruz Soriano
Universidad de Sancti Spiritus, Cuba
PhD. Roelbis Lafita Frómata
Universidad Metropolitana, Ecuador
PhD. Isis Camargo Toribio
Universidad Técnica del Norte, Ecuador
PhD. Glicería Petrona Gómez Ceballos
Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
PhD. María Victoria Reyes Vargas
Universidad Estatal Amazónica, Ecuador
PhD. Rafael Bosque Suárez
Universidad de Ciencias Pedagógicas, Cuba
PhD. Martha Margarita Bonilla Vichot
Universidad de Pinar del Río, Cuba
PhD. Zuley Fernández Caballero
Universidad Autónoma de Barcelona, España
PhD. Fidel Ortiz Ordaz
Universidad Técnica del Norte, Ecuador
PhD. Ada Lucía Bonilla Vichot
Universidad de Pinar del Río, Cuba
MSc. Alejandro Oliveros Pestana
Instituto de Geografía Tropical, Cuba
PhD. Amparo Osorio Abad
Universidad de Ciencias Pedagógicas, Cuba
PhD. Tania Merino Gómez
Ministerio de Educación Superior, Cuba
MSc. Wagner Castro Castillo
Universidad Nacional, Costa Rica
MSc. Yaneisis Cisneros Ricardo
Universidad de Ciencias Pedagógicas, Cuba
MSc. Juan Ricardo Gamarra Ramos
Fondo Verde Internacional, Perú
PhD. Pedro Martín Castellanos Orozco
Fundación HOVA, Colombia
PhD. Ignacio González Ramírez
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador
PhD. Jorge Ferro Díaz
Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales, Cuba
PhD. Omaidá Romeu Torres
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador
MSc. Reynier Rodríguez Rico
Red Iberoamericana de Medio Ambiente, Ecuador
PhD. Yoel Martínez Maqueira
Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales, Cuba

REVISTA IBEROAMERICANA AMBIENTE & SUSTENTABILIDAD

VOL. 2 No. 2 JULIO-DICIEMBRE 2019 ISSN: 2697-3510 e-ISSN: 2697-3529

DOI: <https://doi.org/10.46380/rias.v2i2>



CARIDAD DAILYN LÓPEZ CRUZ

Máster en Dirección
(Universidad de Sancti Spíritus
«José Martí Pérez», Cuba).
Asesora de la Dirección de
Extensión Universitaria del
Ministerio de Educación
Superior de la República de
Cuba.



SARA YAIMA ULLOA BONILLA

Máster en Planificación
Territorial y Gestión Ambiental
(Universidad de Barcelona,
España). Secretaria Ejecutiva de
la Red Iberoamericana de
Medio Ambiente (REIMA, A.C.).

EDITORIAL

La llamada pseudociencia ha venido a inundar, desde hace ya algunas décadas, los espacios tradicionales y virtuales que propician las Tecnologías de la Información y la Comunicación. Dentro de ese universo donde se funden datos reales con supuestos o no validados con el método científico, los lectores – dígase docentes, investigadores, estudiantes, líderes políticos (gubernamentales y no gubernamentales), campesinos, obreros, emprendedores, amas de casa, indígenas, inversionistas, etc.– deben saber identificar las fuentes confiables de las cuales aprender nuevos conocimientos o profundizar los ya incorporados a su cultura personal, organizacional o institucional, según fuere el caso.

La ciencia de corriente principal se promociona mediante publicaciones de impacto indexadas en bases de datos de alto prestigio internacional, las cuales, muchas veces, son de acceso limitado, desconocidas o inaccesibles para quienes buscan algún tipo de información que le permita perfeccionar sus prácticas en cualquier esfera de la vida. Por esta razón, los resultados científicos que se socializan con otro perfil mediante boletines, revistas, libros, páginas Web u otras plataformas respaldadas por instituciones educativas, centros de investigación, proyectos y redes académicas –por mencionar algunos ejemplos–, se traducen como productos nobles al alcance de la mano de aquellos que necesitan conocer y aprehender cómo lograr la sostenibilidad en el día a día.

La *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad* pone a disposición de sus lectores los Números 2 y 3 del Volumen 2; los que resultan una selección de los presentados en el V Congreso Iberoamericano Ambiente y Sustentabilidad – Ecuador 2019, evento que tuvo lugar en la Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM) del 10 al 14 de junio de 2019, y que contó con un total de 421 delegados e invitados de 15 países.

Por la diversidad de enfoques, de temáticas y de procesos, aquí recogidos, cada número de este volumen estará conformado por los artículos más representativos de los temas abordados en el congreso.

Solo resta, una vez más, invitarle a pasar a nuestra humilde pero cálida casa. Sea, pues, bienvenido.



CONTENIDO

Educación, cultura y comunicación ambiental

- La huella ecológica, indicador de la responsabilidad social y ambiental de cara al 2030.**
Luz María Contreras Velázquez, Lisbet Guillén Pérez y Alleyne Formoso Mieres 5
- Percepciones de los visitantes sobre las áreas verdes urbanas de la ciudad de Tulcán. Implicaciones educativas ambientales.** *Santiago Andrés Santacruz Vallejo y José Alí Moncada Rangel* 14

Bases de datos, percepción remota y SIG aplicados a la gestión ambiental

- Monitoreo de la calidad del agua del lago Chinchaycocha, Junín, mediante técnicas de teledetección espacial.** *Christian Ayala Jesús y Marco Antonio Herrera Díaz* 23

Manejo sustentable de tierras y seguridad alimentaria

- Contribución a la seguridad alimentaria en el municipio de Cabaiguán.** *Onelia Guevara Reyes, Francisco Hernández Somoza, Raquel de la Cruz Soriano y Nelson León Orellana* 32
- Efecto del uso de tecnologías limpias en el control de la broca del fruto del café (*Hypothenemus hampei Ferrari*).** *Richard Leonardo Palma Ponce y Jesús de los Santos Pinargote Chóez* 44

Gestión de riesgos ambientales y cambio climático

- Arbolado urbano. Estudio de caso: Reparto Hermanos Cruz, Pinar del Río, Cuba.** *Marta Margarita Bonilla Vichot, Elizabeth Crespo Paredes y Darien Felipe Medina Bonilla* 52
- Estimación del efecto marginal de la vegetación urbana en la remoción de PM2.5 en Medellín, Colombia.** *Daniela Velásquez Ciro, Julio Eduardo Cañón Barriga e Isabel Cristina Hoyos Rincón* 61
- Síntesis de polihidroxicanoatos a partir de *Scenedesmus acuminatus*, como alternativa a los plásticos derivados del petróleo.** *Luz Adriana Vizcaíno Rodríguez, Juan Luis Caro Becerra, Ramiro Lujan Godínez, Pedro Alonso Mayoral Ruiz y Michel Parra J. Guadalupe* 71
- Evaluación de la producción de metano de vinazas mediante digestor anaerobio tipo batch.** *Michelle Stefany García Salazar, Sandy Pamela Intriago Zambrano, Julio Abel Loureiro Salabarría y Carlos Ricardo Delgado Villafuerte* 79
- Efecto en la resistencia de bloques elaborados con agregados de residuos del cultivo de maíz (*Zea mays*).** *Carlos Ricardo Delgado Villafuerte, Kayna Marilyn Hidalgo Zambrano, Carlos Andree Villafuerte Vélez, Patricio Javier Noles Aguilar y Enrique Richard* 89

EDUCACIÓN, CULTURA Y COMUNICACIÓN AMBIENTAL

**La huella ecológica, indicador de la
responsabilidad social y ambiental de cara al
2030.**

**The ecological footprint, indicator of the
social and environmental responsibility of
cara until 2030.**

**Luz María Contreras Velázquez¹, Lisbet Guillén
Pérez y Alleyne Formoso Mieres**

¹Universidad Metropolitana, Ecuador
lucymcontrerasv@gmail.com

Recibido: 17/06/2019

Aceptado: 20/11/2019

Publicado: 27/12/2019

RESUMEN

Para cumplir el Objetivo de Desarrollo Sostenible para el 2030 que plantea garantizar modalidades de consumo y producción sostenible, es primordial el papel que deben asumir las universidades como gestor de la educación y de la gestión ambiental. La *Huella Ecológica* es un indicador biofísico que integra el conjunto de impactos que ejerce la comunidad sobre su entorno, medido en términos de apropiación de ecosistemas, que considera tanto los recursos necesarios como los residuos generados para el sostenimiento de dicha comunidad. El presente trabajo surge con el objetivo de comunicar a la comunidad universitaria de la Universidad Metropolitana de Ecuador, el resultado de la huella ecológica focalizado en un estudio de caso único. Se empleó la herramienta de cálculo disponible en el sitio Web del Ministerio de Ambiente de Ecuador, y se obtuvo una huella ecológica de 2.87 hectáreas globales (hag) que supera el valor de este indicador para el caso de este país. Esto significa que el estilo de vida asumido supera los límites del planeta y evidencia un conflicto entre el modelo de consumo y la sostenibilidad ambiental. Finalmente, se exponen algunas medidas correctoras para reducir la huella ecológica a fin de aportar al desarrollo sostenible.

PALABRAS CLAVE: desarrollo sostenible, indicador de sostenibilidad, medio ambiente.

ABSTRACT

In order to achieve the Sustainable Development Goal for 2030, which proposes guaranteeing sustainable consumption and production modalities, the role that universities must assume as an education and environmental management manager is essential. The Ecological Footprint is a biophysical indicator that integrates the set of impacts that the community exerts on its environment, measured in terms of appropriation of ecosystems, which considers both the necessary resources and the waste generated to sustain said community. The present work arises with the objective of communicating to the university community of the Metropolitan University of Ecuador, the result of the ecological footprint focused on a single case study. The calculation tool available on the website of the Ministry of Environment of Ecuador was used, and an ecological footprint of 2.87 global hectares (hag) was obtained that exceeds the value of this indicator for the case of this country. This means that the assumed life style exceeds the limits of the planet and shows a conflict between the consumption model and environmental sustainability. Finally, some corrective measures are exposed to reduce the ecological footprint in order to contribute to sustainable development.

KEYWORDS: environment, sustainability indicator, sustainable development.

INTRODUCCIÓN

El planeta Tierra posee una cuarta parte de superficie productiva, de las cuales 12 600 millones de hectáreas consideradas como tal, incluyen áreas marinas y tierra firme; preservándose de ese total el 10% para otros seres vivos, lo que deja 11 340 millones de hectáreas disponibles para los seres humanos. Al dividir esta cifra entre la cantidad de habitantes del planeta se obtendrá que a cada persona le corresponde cerca de una 1.7 ha, de las cuales 0.25 ha serían de uso agrícola; 0.6 de prado; 0.6 de bosque y el resto estaría destinado a terrenos modificados (ciudades, carreteras, fábricas, monocultivo, entre otras) (Martínez, 2007).

En la actualidad la actividad humana afecta el sistema que sostiene la vida de la Tierra, de ahí la inmensa responsabilidad que tiene el hombre sobre sus hombros. El secretario general de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) lo calificó como «el desafío que define nuestra época» en la presentación del *IV Informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático en Valencia* (Panel Intergubernamental del Cambio Climático, 2007).

El concepto de *huella ecológica* (HE) fue introducido en el año 1995 por los urbanistas Rees y Wackernagel, definiéndolo como «el área de territorio ecológicamente productivo (cultivos, pastos, bosques o ecosistema acuático) necesaria para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos por una población definida con un nivel de vida específico indefinidamente, donde sea que se encuentre esta área» (Rees y Wackernagel, 1996, p. 41).

Se trata de un indicador sencillo de comprender y de gran potencia comunicacional. Es aplicable a diferentes escalas: personal, municipal, de países, mundial. Se considera una herramienta cuyos métodos de cálculo se encuentran en proceso de refinación y presenta algunas dificultades a la hora de obtener información por parte de algunos niveles gubernamentales (López y García de Chenea, 2015). Se expresa en *hectárea global* (hag) como la unidad de superficie requerida para todos los procesos productivos, los consumos de materiales y energía y la absorción de los residuos generados.

Según el director general del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, por sus siglas en inglés) en el *Informe Planeta Vivo del 2004*, «(...) estamos consumiendo los recursos más rápido de lo que la Tierra los puede reponer. Las consecuencias de ello son predecibles y graves. Es tiempo de tomar algunas decisiones vitales; de hacer cambios que mejoren los estándares de vida y reduzcan nuestro impacto sobre el mundo natural, aunque ello no sea fácil» (World Wildlife Fund [WWF], 2014, p.14).

Tal es el nivel de consumismo que, el 1 de agosto del año 2018, se reconoció como el Día de la Deuda Ecológica del 2018, un punto en el calendario en el que se consumió más recursos naturales de los que el planeta puede regenerar en un año. La organización internacional Global Footprint Network, que investiga cómo se administran o no los recursos mundiales, señala que en los primeros 7 meses de 2018 se han destruido los recursos para producir desde los alimentos que se ingieren hasta la ropa que se viste y el combustible empleado en los coches (WWF, 2018).

El ritmo de crecimiento del sistema de producción actual nos lleva a una situación cada vez más crítica que requiere de una tarea bien difícil: Cambiar los modos de comportamiento de la sociedad.

Por otra parte, aunque actualmente el término *responsabilidad social* alcanza mayor significación en la esfera empresarial, conocido como *responsabilidad social corporativa* y ha impregnado en buena medida el tejido empresarial, no ha ocurrido lo mismo en el ámbito universitario, donde la reflexión sobre la responsabilidad social está en fase inicial (Larrán y Andrade, 2015).

Todo lo anterior fundamenta la necesidad de que las instituciones educativas, y en especial las universidades, sean líderes en la investigación, innovación y educación. Deben ser las entidades claves para fomentar los cambios en las generaciones actuales y futuras. Estas juegan un papel primordial en aras de un desarrollo sostenible de la sociedad y el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 (Naciones Unidas, 2015).

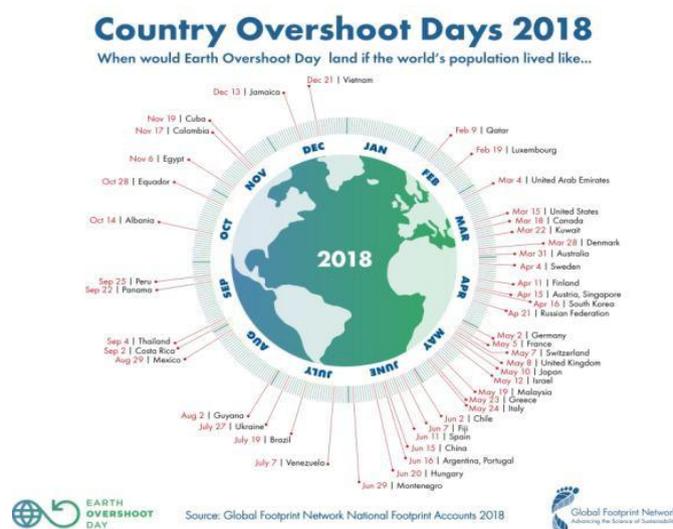
Este trabajo tiene el objetivo de comunicar a la comunidad de la Universidad Metropolitana de Ecuador, el resultado de la huella ecológica para un caso de estudio único, y contribuir a la toma de conciencia sobre el impacto que los seres humanos están ocasionando sobre la biósfera, a fin de que se traduzca en la voluntad de tomar acciones para lograr las metas de desarrollo aspiradas para el 2030.

Comportamiento de la Huella Ecológica. Caso Ecuador

La huella ecológica se puede definir como un indicador biofísico que permite cuantificar la cantidad de superficie ecológicamente productiva que necesita una sociedad (país, región o ciudad) para satisfacer sus niveles de consumo y asimilar sus residuos. En este sentido, la HE también puede ser entendida como una herramienta de contabilidad ambiental que recoge diferentes impactos de las actividades económicas en la biosfera, según (Pérez *et al.*, 2015).

La *figura 1* muestra por países el comportamiento del *Día de la Deuda Ecológica* en el 2018. La misma se calcula dividiendo la cantidad de recursos naturales que la tierra produce en un año (biocapacidad), entre los recursos que la humanidad consume (huella ecológica) y se multiplica por el número de días del año.

Figura 1. Comportamiento del Día de la Deuda Ecológica a nivel mundial.



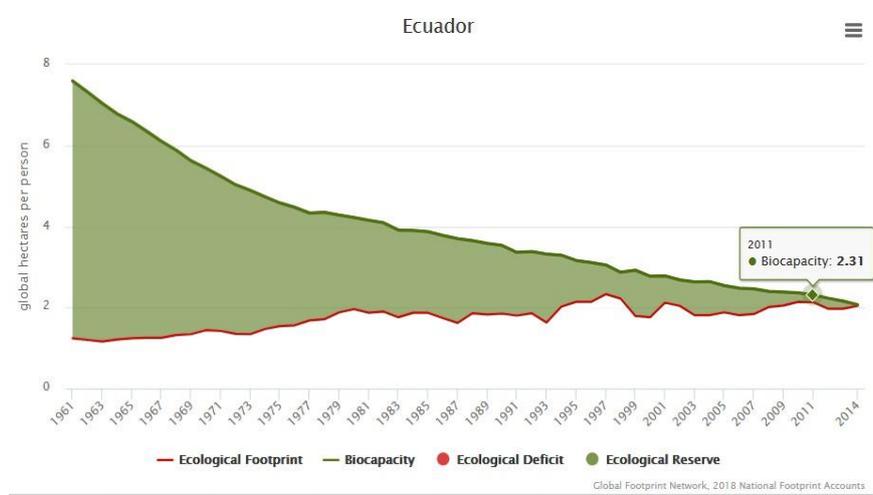
Fuente: Global Footprint Network (2018).

Más del 80% de la población mundial vive en países con déficit ecológico. El balance entre la huella ecológica y la biocapacidad indica la sostenibilidad del planeta. Sin embargo, el costo de sobrepasar la capacidad productiva de la Tierra deriva en lo que se conoce como *déficit ecológico*. Desde finales del siglo pasado, este día se ha ido adelantando en el calendario, lo que indica que en los últimos años la humanidad ha ido ejerciendo cada vez más presión sobre sus recursos naturales.

En el caso de Ecuador, el término de *huella ecológica* era poco conocido hasta el año 2011, cuando el Ministerio del Ambiente puso en marcha el Proyecto de Inversión «Identificación, Cálculo y Mitigación de la Huella Ecológica del Sector Público y Productivo del Ecuador», con el objetivo de impulsar el consumo sostenible de recursos (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2017).

De acuerdo a los datos publicados en ese boletín en el año 2012, la huella ecológica *per cápita* de un ecuatoriano promedio fue aproximadamente 1.7 veces menor que el promedio mundial (2.84 hag), manteniéndose por debajo de la biocapacidad promedio mundial (1.73 hag per cápita), como se puede observar en la *figura 2*. El término *biocapacidad* se refiere a la habilidad de los ecosistemas del mundo para proveer de servicios ambientales y recursos naturales necesarios para la humanidad. Esto incluye, la producción de materiales biológicamente útiles y la absorción de dióxido de carbono.

Figura 2. Comportamiento histórico de la HE de Ecuador.



Fuente: Global Footprint Network (2018)

Para Ecuador, el Día de la Deuda Ecológica en el año 2018 se reportó el 28 de octubre, según el diario *El Universo* en su artículo «El 28 de octubre Ecuador gastará todos sus recursos ecológicos de 2018» (2018). En el mismo, un especialista de la Global Footprint Network reflexiona que este sobregiro en el país lo sufrirán las nuevas generaciones y plantea que «es comparable al uso de una tarjeta de crédito. En octubre nos acabamos el presupuesto que la naturaleza nos da, entonces el resto del año vivimos de la tarjeta de crédito. ¿Quién va a tener que pagar la tarjeta? Nuestros hijos» (2018, párr. 9).

A nivel global, los costos de este sobregiro ecológico son cada vez más evidentes en forma de deforestación; escasez de agua dulce; la erosión del suelo; pérdida de biodiversidad; y la acumulación de dióxido de carbono en la atmósfera; lo que provoca el cambio climático, sequías, incendios forestales y huracanes cada vez más severos. Sin embargo, la población no conoce sobre el valor de su huella ecológica y por lo tanto no es capaz de responder las siguientes interrogantes: ¿Cuál es tu Día de Sobregiro personal? ¿Cuántos planetas usaríamos si todo el mundo viviera como tú?

En términos de sostenibilidad, la huella ecológica constituye una herramienta analítica indispensable para comprender algunos de los aspectos fundamentales del comportamiento biofísico de los sistemas económicos, y por ende, un indicador que nos alerta sobre nuestra responsabilidad social y ambiental, al aproximarnos al conocimiento sobre el impacto ambiental de nuestro consumo individual.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el análisis y presentación de los principales resultados de la huella ecológica personal se tomó como referencia las publicaciones más recientes del Global Footprint Network en torno al cálculo de la huella ecológica de las naciones (WWF, 2018).

Como herramienta de cálculo se empleó la calculadora de huella ecológica personal disponible en la página web del Ministerio de Ambiente del Ecuador, en la cual se pueden ingresar la cantidad de bienes que se consumen según tres secciones; en la sección (1) se relaciona el consumo de productos agrícolas y animales (legumbres, vegetales, frutas, aceites, grasas, productos lácteos y carnes, entre otros); en la sección (2) el consumo de energía tanto en el hogar como por el uso de autos; y en la sección (3) el consumo de productos relacionados con la madera como es el papel, la adquisición de muebles, entre otros *ítems*. Estos consumos de bienes a su vez están relacionados con tierras productivas y son agrupados en seis categorías según las superficies donde se producen:

- *Cultivos*: superficies de actividad agrícola (cereales, frutas, materias primas...)
- *Pastos*: espacios utilizados para la alimentación del ganado que nos provee de carne, leche y huevos.
- *Bosques*: superficies forestales, ya sean naturales o repobladas, para la explotación de la madera.
- *Mar*: de donde obtenemos los productos de pesca y donde existe una producción biológica mínima para ser aprovechada por la sociedad.
- *Terreno construido*: aquel ocupado por nuestras ciudades, viviendas, industrias y carreteras.
- *Energía* (área de absorción de CO₂): superficies de bosques necesarias para la absorción del CO₂ (dióxido de carbono), desprendido al quemar los combustibles fósiles para la producción de energía.

Se tomaron como base los valores de consumo de una persona, en este caso de un docente de la Universidad Metropolitana de Ecuador, a fin de conocer el valor de la huella ecológica individual y así reflexionar y plantear posibles acciones para disminuirla a partir de reducir el consumo innecesario de recursos. Los valores de consumo según las diferentes secciones que recoge la calculadora de HE, se reportan en anexo del trabajo.

La *figura 3* muestra la forma de acceder a la calculadora para medir la huella ecológica de una persona en el Ecuador, herramienta que se encuentra disponible en el sitio Web del Ministerio de Ambiente de este país.

Figura 3. Calculadora para la medición de la huella ecológica personal.



Fuente: Ministerio del Ambiente de Ecuador (2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez entrada la información de los consumos de bienes en las diferentes secciones se obtiene el resultado final, el cual para este caso de estudio único de huella ecológica personal fue 2.87 hag, como se aprecia en la figura siguiente.

Figura 4. Resultado de la huella ecológica personal para el caso de estudio.



Fuente: Ministerio del Ambiente de Ecuador (2019).

Como se observa, el nivel de consumo de este caso único, que se puede considerar de clase media-baja, es tal que produce una huella ecológica similar a la del mundo (2.87 hag) y superior a la huella ecológica de Ecuador (1.57 hag), resultado que impactó de gran manera a las autoras y que le motiva a reflexionar sobre el estilo de vida y de consumo actual, y a plantearse algunas acciones que pueden disminuir la misma. Si se tiene en cuenta la cantidad de hectáreas globales de la tierra, a cada persona en el mundo le corresponde una huella ecológica de 1.8 hag, por lo que al dividir el resultado de aquella por ese valor se obtiene que la persona tomada como referencia para este estudio de caso, necesitaría aproximadamente 1.6 planetas. Por ello se considera que este resultado de la huella ecológica está fuera de los límites de sustentabilidad global.

Este resultado de la huella ecológica personal se corresponde con el valor de la huella ecológica asociada a los hogares, publicado por el Ministerio del Ambiente de Ecuador (2017), al compararlo con la huella ecológica de servicios. Según este estudio en el caso de los hogares los principales aportes están dados por el consumo de alimento y de transporte. De aquí la importancia de promover hábitos de consumo responsable con el fin de lograr reducir este indicador, sobre todo en aquellos *ítems* que aportan significativamente a la misma, sin afectar significativamente la calidad de vida.

Sin embargo, existen estudios que evidencian la posibilidad de reducir la huella ecológica personal, a partir de la implementación de estrategias en cuanto a los patrones de consumo para lograr un consumo más sostenible. Aliaga (2014) muestra en su trabajo cómo las estrategias aplicadas en el caso de estudios de estudiantes permitieron disminuir de 1.13 ha a 0.898 ha.

Por su parte, la organización no gubernamental World Wild Fund for Nature recomienda acciones relacionadas con los hábitos alimenticios y el consumo de los alimentos, pues un tercio de todos los alimentos, más de 1.430 millones de toneladas al año en todo el mundo, se desperdicia, lo que representa hasta el 10% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, y aproximadamente una cuarta parte de toda la deforestación y el uso humano del agua (WWF, 2018).

Reflexiones sobre pequeñas medidas que mejorarán la huella ecológica en el planeta.

La primera reflexión está relacionada con reconocer que la crisis ambiental no es un problema ambiental y técnico, sino un problema de comportamiento social. Cambiando cada día algo de los hábitos de consumo es posible lograrlo. Un ejemplo simple: A la hora de consumir un coctel sólo hace falta decir: ¡Sin sorbete o adsorbente, por favor!

Las decisiones de consumo de la ciudadanía, según como se orienten, tienen mucho que ver en la solución o en el empeoramiento de los problemas ambientales. Las decisiones de compra de alimentos se sitúan como un factor clave en esta encrucijada, pues en la cadena de producción de alimentos se generan muchos y diferentes impactos, tales como emisiones, eutrofización, ocupación del territorio, desertización, etc. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2017).

Otra acción inmediata puede ser cambiar los hábitos alimenticios. De acuerdo a las recomendaciones que ofrece la propia herramienta de cálculo empleada, al consumir proteínas alimenticias provenientes de la carne, su factor de huella es de 2.171 hag, mientras que, si se opta por proteínas vegetales como el fréjol, representa una reducción de 0.16 hag de la huella ecológica (Ministerio del Ambiente de Ecuador, 2019). Comer garbanzos con arroz en lugar de carne de ternera hace que la huella ecológica sea casi cinco veces menor. En este sentido, según estudios realizados por el Fondo Mundial para la Naturaleza, la huella ecológica producida a causa de la alimentación humana disminuiría un 35% si se redujera el consumo de carne y lácteos a nivel mundial en tan solo un 9%. Otro aspecto importante es consumir alimentos sin mucho empaque.

Por otro lado, consumir alimentos producidos localmente reduce tu huella ecológica considerablemente, por ejemplo, preferir el consumo de arroz importado al arroz ecuatoriano aumenta tu huella ecológica en 0.21 hag. En cuanto al consumo de energía y combustible, se debe trabajar por la sustitución de bombillos incandescentes por bombillos ahorradores. A lo largo de un año se reduce la huella personal en 0.24 hag si se cambian todos los focos de las viviendas. Otro elemento medular en el hogar es el uso del computador en modo de ahorro de energía. Tu huella ecológica será 0.021 hag menor al configurar la computadora en modo de ahorro de energía o apagarla cuando no la utilices.

Por último, una reflexión como seres humanos racionales, si se convierten los recursos en desechos más rápidamente que los desechos se convierten en recursos, ocurrirá un sobregiro ecológico global que agotará los recursos de los cuales dependen la vida humana y la biodiversidad, en otras palabras, se excede la capacidad de regeneración de la tierra.

CONCLUSIONES

La huella ecológica se considera un indicador que mide la responsabilidad social y ambiental de los individuos, fácil de calcular a través de diferentes herramientas disponible que permite visualizar en qué rubros se puede disminuir el impacto ambiental de cada persona.

Se demostró a través de un caso de estudio que los hábitos de consumo de una persona común en el caso de Ecuador es tal que produce una huella ecológica que supera los límites de sustentabilidad global de 1.61 hag.

La aplicación de la huella ecológica personal debe ser asumida por todos los ciudadanos como medidor de la responsabilidad social y ambiental, a fin de encauzar las actividades cotidianas hacia formas de vida sustentables y a una manera de monitorear frecuentemente el impacto ambiental individual sobre los recursos naturales globales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aliaga, M. E. (2014). Determinación de la Huella Ecológica personal como estrategia para la adquisición de patrones de consumo sostenible UNCP. *Saber y Hacer. Revista de Ingeniería de la USIL*, 3(1), 49-69.
- El 28 de octubre Ecuador gastará todos sus recursos ecológicos de 2018. (2018). Diario El Universo. <https://cutt.ly/ryS3gES>
- Global Footprint Network. (junio de 2018). Infographics. <https://cutt.ly/AyS3fvY>
- Larrán, M. y Andrade, F. (2015). Análisis de la responsabilidad social universitaria desde diferentes enfoques teóricos. *Revista Iberoamericana de Educación Superior*, VI (15), 91-107. <https://bit.ly/2LQEMDd>
- López, E. y García de Chenea, B. (2015). Análisis de riesgos para la reserva ecológica de América Latina y el Caribe. *Ciencia y Tecnología*, (15), 97-112. <https://doi.org/10.18682/cyt.v1i15.292>
- Martínez, R. (2007). Algunos aspectos de la huella ecológica. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*, VII (14), 11-25. <https://bit.ly/2ytb83P>
- Ministerio del Ambiente de Ecuador. (2017). *Boletín Nro. 1. Huella Ecológica del Ecuador. Principales avances y resultados* (1^{ra} Ed.). <https://bit.ly/2WVFeIG>
- Ministerio del Ambiente de Ecuador. (junio de 2019). *Ecuación del Medio Ambiente*. <http://www.ambiente.gob.ec/ecuacion-del-medio-ambiente>
- Naciones Unidas. (2015). *Agenda 2030 para el desarrollo sostenible*. <https://cutt.ly/ZyS3hwo>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). *El futuro de la alimentación y la agricultura: tendencias y desafíos*. <http://www.fao.org/3/a-i6881s.pdf>
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático. (2007). Cambio climático: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II, III al Cuatro Informe de evaluación del Grupo

intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (Eds).

Pérez, D., Marcos, O. y Álvarez, P. (2015). La huella ecológica de las naciones. *Revista Ciencia UNEMI*, 8(14), 93-103. <https://bit.ly/2ZwFBcr>

Rees, W. y Wakernagel, M. (1996). *Our Ecological Foot-print: Reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishing.

World Wildlife Fund. (2014). *Informe planeta vivo 2014*. <https://bit.ly/3ghdrYL>

World Wildlife Fund. (2018). *Living Planet Report - 2018: Aiming Higher*. <https://bit.ly/2LSU7DI>

EDUCACIÓN, CULTURA Y COMUNICACIÓN AMBIENTAL

Percepciones de los visitantes sobre las áreas verdes urbanas de la ciudad de Tulcán. Implicaciones educativas ambientales.

Perceptions of visitors on the urban green areas of the city of Tulcán. Environmental educational implications.

**Santiago Andrés Santacruz Vallejo¹
y José Alí Moncada Rangel**

¹Universidad Técnica del Norte, Ecuador
sasantacruz@utn.edu.ec

Recibido: 17/06/2019

Aceptado: 20/11/2019

Publicado: 27/12/2019

RESUMEN

Las Áreas Verdes Urbanas (AVU) son elementos garantes de la calidad de vida de los habitantes de las ciudades. La gestión sustentable de estos espacios debe considerar las características de sus usuarios. El objetivo de la investigación fue determinar la percepción de los visitantes sobre las AVU de la ciudad de Tulcán, provincia Carchi, Ecuador, con el fin de proponer orientaciones educativas ambientales. Se aplicó una encuesta a 180 visitantes en 21 áreas verdes de la ciudad, siguiendo un muestreo no probabilístico de tipo intencional. La información se registró en un cuestionario estructurado que abordó las variables: Tipología, características de la visita, evaluación de los servicios, problemas percibidos y soluciones propuestas. El 67% de los visitantes son jóvenes-adultos que visitan semanalmente estos espacios (41%), para realizar actividades de descanso (46%) y deporte (31%). Los principales medios de transporte utilizados son a pie (53%) y bus (18%). Los servicios de agua potable (42%) y alcantarillado (43%) son considerados como buenos. Los problemas que perciben son inseguridad (47%), falta de infraestructura (33%) y falta de aseo (28%); el 46% sostiene que estos problemas se generan por deficiencias en la administración municipal y la poca educación ambiental de la sociedad (35%). Las soluciones se focalizaron en la implantación de charlas de concienciación (48%) y aumento de la inversión municipal (40%) y estatal (18%). Las propuestas educativas, centradas en los ámbitos formal, no formal e informal, están dirigidas a promover la valoración de estos espacios y la promoción de comportamientos responsables hacia su uso.

PALABRAS CLAVE: áreas verdes, sustentabilidad urbana, visitantes.

ABSTRACT

Urban Green Areas (AVU) are guarantors of the quality of life of city dwellers. The sustainable management of these spaces must consider the characteristics of its users. The objective of the research was to determine the perception of visitors about the AVU of the city of Tulcán, province Carchi, Ecuador, in order to propose environmental educational orientations. A survey was applied to 180 visitors in 21 green areas of the city, following a non-probabilistic sampling of an intentional type. The information was recorded in a structured questionnaire that addressed the variables: Typology, characteristics of the visit, evaluation of services, perceived problems and proposed solutions. 67% of visitors are young adults who visit these spaces weekly (41%), to perform rest activities (46%) and sports (31%). The main means of

transport used are on foot (53%) and bus (18%). Drinking water (42%) and sewage (43%) services are considered good. The problems they perceive are insecurity (47%), lack of infrastructure (33%) and lack of cleanliness (28%); 46% argue that these problems are caused by deficiencies in the municipal administration and the low environmental education of society (35%). The solutions focused on the implementation of awareness talks (48%) and increase in municipal (40%) and state investment (18%). The educational proposals, focused on the formal, non-formal and informal fields, are aimed at promoting the valuation of these spaces and the promotion of responsible behavior towards their use.

KEYWORDS: green areas, urban sustainability, visitors.

INTRODUCCIÓN

Las Áreas Verdes Urbanas (AVU) son elementos garantes de la calidad de vida de los habitantes de las ciudades. Como consecuencia, su conservación se convierte en un deber para la gestión sustentable de estos territorios, la cual debe considerar estrategias que involucren a los habitantes, visitantes e instituciones que las manejen y contribuyan con la construcción de una noción de ciudad (Ornés, 2014).

A pesar de su importancia, el correcto manejo de las AVU se ha vuelto un reto en las ciudades latinoamericanas. Son varias las causas que inciden en esto; las mismas van desde aquellas de carácter social-global, como el surgimiento de los medios de comunicación masiva e Internet como nuevos espacios de socialización (Castells, 2000), o el crecimiento disperso de ciudades con la consecuente carencia de relaciones de contacto, regulación, intercambio y comunicación propias de los entornos urbanos (Quintero y Gómez, 2012); hasta otras más específicas, como la imposibilidad de las administraciones locales de armonizar los intereses contradictorios propios del espacio público (Cabral, 2002).

Este es el caso de Tulcán, ciudad fronteriza asentada al Norte del Ecuador, y en la que no se ha dado a sus AVU la relevancia que tienen como espacios vitales en el metabolismo urbano. Con la excepción del Cementerio Azaél Franco, principal atractivo turístico de la ciudad (Bolaños, 2012), estas áreas evidencian deterioro, abandono y limitaciones de acceso a la población, lo que incrementa la inseguridad, reduce la interacción social y perturba la biodiversidad que en ellos se resguarda. Como resultante, se afecta la calidad de vida de los habitantes de esta urbe fronteriza.

Ante ese escenario se ha emprendido una serie de acciones para solventar esta situación, que procuran la recuperación y valoración de las AVU en esta ciudad. La gestión sustentable de estos espacios requiere considerar aspectos que aseguren su adecuación y pertinencia, tales como las necesidades de cada parque o plaza, y las características y demandas de sus visitantes. En este último aspecto se enfoca el presente trabajo, que resume la investigación llevada a cabo para determinar la percepción de los visitantes sobre las AVU de la ciudad de Tulcán, provincia Carchi, Ecuador, con el fin de proponer orientaciones educativas ambientales.

Los estudios de usuarios de los espacios urbanos son fundamentales en el diseño de procesos educativos ambientales (Dorigo y Lamano-Ferreira, 2015; Cerati y Quiroz, 2016), dado que sirven de insumo para asegurar la pertinencia y adecuación de los contenidos y métodos a los diversos destinatarios de estas acciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

La ciudad de Tulcán se localiza en la zona Norte del Ecuador, al 0°15' latitud Sur y 7°35' longitud Oeste, formando parte del cantón Tulcán en la provincia Carchi. La superficie de área urbana se ha estimado en 138.75 km². Se encuentra a una altura de 2 962 msnm, y cuenta con una temperatura media de 11.4°C. La cabecera cantonal comprende dos parroquias urbanas: Tulcán y González Suárez (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010).

Procedimientos

La percepción que los visitantes de las AVU de la ciudad de Tulcán tienen sobre estos espacios se determinó mediante una encuesta apoyada en un cuestionario, cuyo proceso de construcción se orientó por las fases propuestas en Orellana (2016). La validez de contenido y de constructo del instrumento se aseguró mediante una consulta a expertos y una prueba piloto aplicada a un grupo de 10 visitantes (Hernández, Fernández y Baptista, 2010). Los indicadores abordados se presentan en la *tabla 1*.

Tabla 1. *Matriz de operacionalización de las variables del estudio.*

VARIABLE	DIMENSION	INDICADORES
Percepción que tienen los visitantes de las AVU de la ciudad de Tulcán	Tipología	A. Edad B. Sector donde vive C. Ocupación
	Características de la visita	A. Frecuencia de visita B. Motivo de la visita C. Modalidad de la visita D. Medio de transporte
	Evaluación de los servicios	A. Calidad del servicio de agua potable B. Calidad del servicio de alcantarillado C. Calidad del servicio de iluminación D. Calidad del servicio del manejo de residuos sólidos
	Problemas que percibe en el área	A. Problemas percibidos B. Causas de los problemas C. Solución de los problemas
	Propuestas para el área	A. Servicio e Infraestructura

Fuente: *Elaboración propia.*

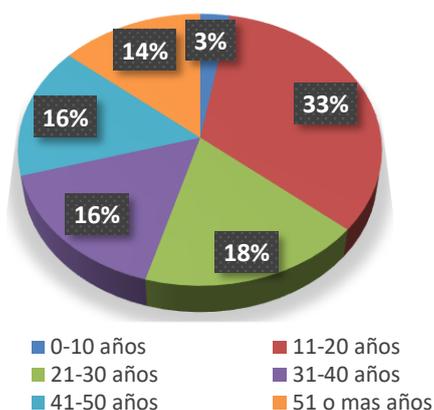
La encuesta se aplicó a 180 visitantes en 21 áreas verdes de la ciudad, siguiendo un muestreo no probabilístico de tipo intencional. La información obtenida se analizó con el programa SPSS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tipología

El 67% de los visitantes encuestados tenían edades entre 11 y 40 años (figura 1), por lo que se trata de una población joven – adulta, que suele predominar en este tipo de áreas.

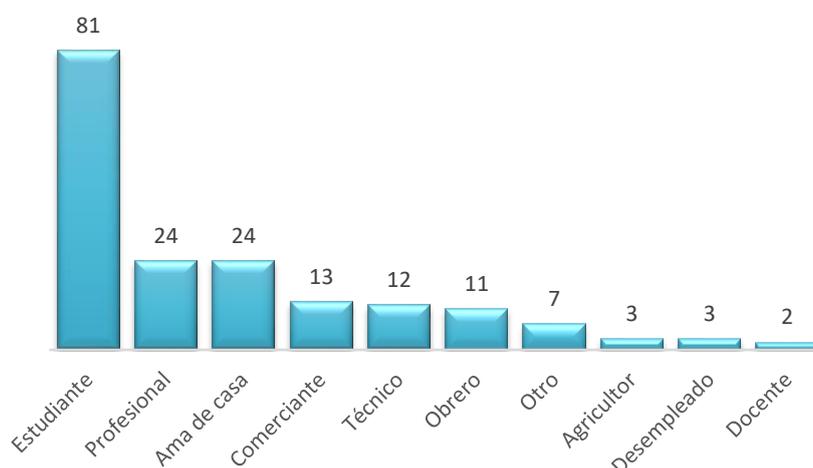
Figura 1. Edades de los visitantes entrevistados en las AVU.



Fuente: Elaboración propia.

El 43% de los visitantes provienen del sector sur de la ciudad, el 31% del sector centro y 26% del sector norte. En referencia a su ocupación, la mayoría de los visitantes mencionaron ser estudiantes, seguidos de profesionales y amas de casa (figura 2).

Figura 2. Número de entrevistados de acuerdo con su ocupación.



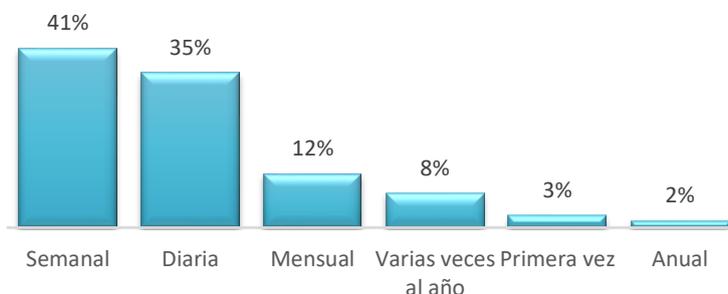
Fuente: Elaboración propia.

Características de la visita

El 41% de los encuestados mencionó que asiste semanalmente a las AVU, mientras que el 31% lo realiza a diario (figura 3); es decir, que más del 70% de la población que visita las AVU lo hace de forma permanente. Desde una perspectiva educativa, esto implica diversificar la

oferta recreativa, desarrollando medios y actividades como senderos de interpretación, programas de juegos ecológicos u otras, asistidas por monitores ambientales que enriquezcan la experiencia de la visita.

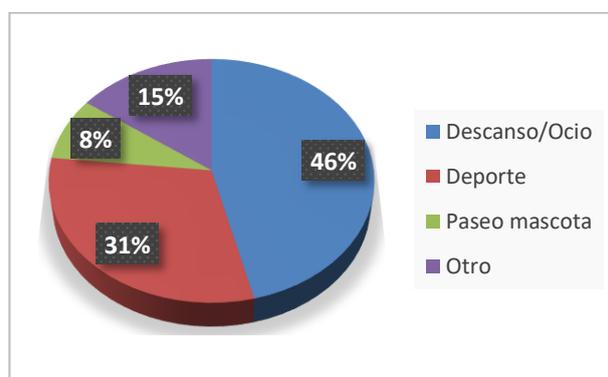
Figura 3. Frecuencia de visita a las AVU.



Fuente: Elaboración propia.

El asistir a estas áreas con frecuencia se asocia directamente al motivo de visita, puesto que el entrevistado manifestó que el 46% lo realiza por razones de descanso/ocio y el 31% para realizar deporte (figura 4). Los resultados son coincidentes con los reportados por Dorigo y Lamano-Ferreira (2015), lo que ratifica a estas actividades como las más importantes en estos espacios.

Figura 4. Motivo de visita a las AVU de la ciudad de Tulcán.

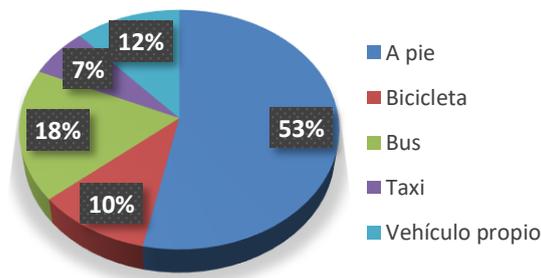


Fuente: Elaboración propia.

Las visitas a las AVU las realizan con amigos (38%), con familiares (32%), solos (25%) y para pasear mascotas (5%). Esto implica que las actividades complementarias que se ofrezcan deben tener un carácter grupal, para lo cual los senderos de interpretación, recorridos guiados y los juegos ecológicos son las estrategias adecuadas.

De las personas encuestadas, el 53% realiza su visita a las AVU a pie, seguidos de quienes utilizan el bus (18%), el vehículo propio (12%), la bicicleta (10%) y el taxi (7%). Esto evidencia que la accesibilidad a las áreas no parece ser un obstáculo para su visita, aunque se requiere constatar si esta situación es común en todas las áreas (figura 5).

Figura 5. Transporte utilizado para visitar las AVU de la ciudad de Tulcán.

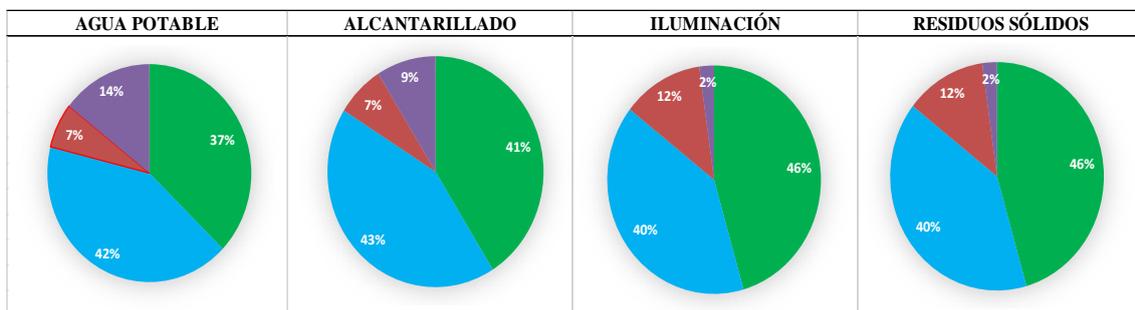


Fuente: Elaboración propia.

Evaluación de los servicios

En promedio, el 43% de los servicios básicos evaluados por los encuestados son considerados como buenos (figura 6). En el caso del acceso al agua potable (42%) y al alcantarillado (43%) son evaluados como regulares. La falta del servicio en ciertas AVU puede relacionarse con el deteriorado sistema de redes de distribución de la ciudad. La implantación de un plan maestro de agua potable y alcantarillado permitiría a la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Tulcán (EPMAPA-T) detectar los puntos críticos y mejorar la oferta del líquido vital.

Figura 6. Evaluación de los servicios básicos de las áreas verdes urbanas.



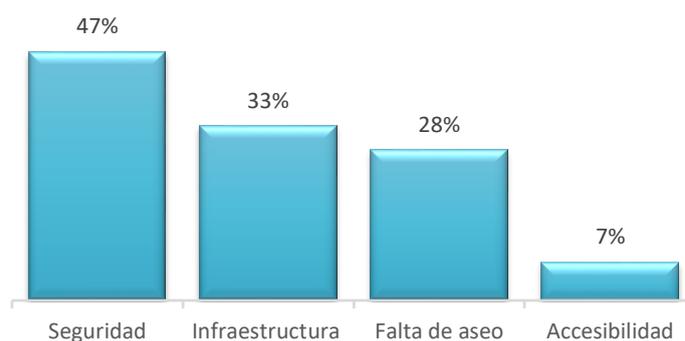
Nota: Verde=Bueno; Azul=Regular; Rojo=Malo; Morado=No tiene.

Fuente: Elaboración propia.

Problemas que perciben

El 47% de los encuestados menciona que las AVU de Tulcán son inseguras, mientras que la infraestructura descuidada (33%) y la falta de aseo (28%) son otros problemas considerados (figura 7). Estos valores de inseguridad pueden deberse a la falta de control tanto de la institución municipal como del Estado. Sin embargo, la predominancia de estos problemas no es exclusiva de la ciudad de Tulcán, debido a que otros trabajos realizados en AVU de América Latina indican la inseguridad y afectación de las infraestructuras como los problemas más comunes (Dorigo y Lamano-Ferreira, 2015).

Figura 7. Problemas en las áreas verdes urbanas.



Fuente: *Elaboración propia.*

El 46% de los visitantes encuestados sostiene que los problemas que se generan son consecuencia de falta de administración municipal. Otras causantes son la falta de educación de la sociedad (35%) y la situación económica del país (16%). Esta segunda respuesta justifica el desarrollo de iniciativas y programas educativos dirigidos a la valoración de estos importantes espacios urbanos (*figura 8*).

Figura 8. Causas de los problemas de las áreas verdes urbanas.



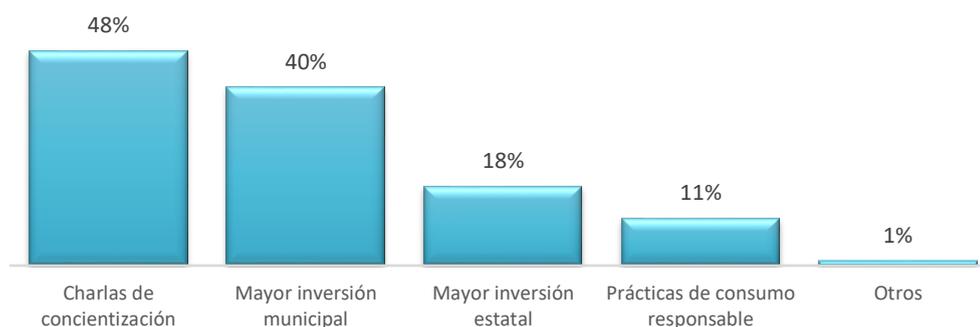
Fuente: *Elaboración propia.*

Propuestas para el área

Las charlas de concientización (48%) constituyen la principal propuesta de los visitantes encuestados para solucionar los problemas indicados. En segundo lugar, manifestaron que se debería aumentar la inversión municipal (40%) y la inversión estatal (18%) (*figura 9*). Para lograr el resultado esperado se debe capacitar a los representantes de la jefatura de participación ciudadana del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Tulcán (GADMT) y a los líderes de la comunidad. Asimismo, el control de seguridad se logrará con el incremento de personal tanto municipal (Policía Municipal) como estatal (Policía Nacional).

En cuanto a la infraestructura necesaria dentro de las AVU, los encuestados manifestaron la necesidad de colocar baterías sanitarias (44%) y crear espacios deportivos (32%), familiares (27%) e infantiles (24%). Para satisfacer las necesidades biológicas de los visitantes es de importancia que en cada una existan baterías sanitarias. Este problema es posible que se presente por la falta del espacio necesario para el óptimo funcionamiento de estas instalaciones.

Figura 9. Posibles soluciones de los problemas en las áreas verdes urbanas.



Fuente: Elaboración propia.

Propuestas educativas

Las propuestas, centradas en los ámbitos formal, no formal e informal, están dirigidas a promover la valoración de estos espacios y la promoción de comportamientos responsables hacia su uso (tabla 2). Como meta se busca desarrollar actividades educativas ambientales dirigidas a promover el conocimiento y la valoración de las AVU de la ciudad de Tulcán.

Tabla 2. Actividades y resultados esperados de la educación para valorar las áreas verdes.

Actividades	Resultados esperados
Programas de formación dirigidos a docentes de educación inicial, primaria, secundaria y superior.	Docentes motivados y actualizados para desarrollar proyectos educativos dirigidos a promover el conocimiento y la valoración de las AVU.
Programas de educación en sensibilización ambiental, en niños, jóvenes y adultos de escuelas, colegios, universidades e institutos.	Niños, jóvenes y adultos con conocimientos y actitudes favorables hacia la conservación y el uso responsable de las AVU de la ciudad.
Desarrollo de elementos divulgativos para medios de comunicación y redes sociales.	Comunidad sensibilizada hacia el valor y uso responsable de las AVU de la ciudad.
Capacitaciones permanentes al personal que está a cargo del manejo de las AVU.	Personal de la jefatura de parques y jardines del GADMT actualizada y capacitada en buenas prácticas ambientales para el manejo de las AVU.
Capacitación de líderes comunales.	Líderes comunales sensibilizados hacia la organización para el desarrollo de acciones de conservación y uso responsable de las AVU.
Desarrollar actividades que complementen la oferta educativa – recreativa de las AVU	Senderos de interpretación, recorridos guiados, programa de juegos ecológicos y oferta de monitores recreativos implementados en las AVU.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Los visitantes de las AVU de la ciudad de Tulcán suele ser una población joven-adulta que percibe que los servicios de agua potable y alcantarillado se encuentran en buen estado, mientras que la iluminación y el manejo de desechos sólidos son regulares. Según los visitantes, la inseguridad es el principal problema que afrontan las AVU y la mayoría de ellos sostiene que la implementación de charlas de concientización con el apoyo de inversión del GADMT son las posibles soluciones a estos inconvenientes.

Ante este escenario, se presentan una serie de actividades orientadas a promover el conocimiento y la valoración las AVU en la ciudad, quedando pendiente para próximas investigaciones su implementación y la evaluación de los impactos generados en el mejoramiento de las situaciones ambientales evidenciadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bolaños, J.H. (2012). Plan estratégico de valoración turística para el manejo sustentable del cementerio Azaél Franco de la ciudad de Tulcán. *Sathiri*, 2, 60-70. <https://doi.org/10.32645/13906925.209>
- Cabrales, L. (2002). El centro histórico de Morelia: gestión social y revaloración del patrimonio. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 22, 131–156. <https://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/view/AGUC0202110131A>
- Castells, M. (2000). *La Sociedad Red*. (Trad. C. Martínez Gimeno). Alianza Editorial. <https://cutt.ly/lyS3kP9>
- Cerati, T.M. y Quiroz, A. (2016). Participación social en la gestión ambiental: estudio de caso en una unidad de conservación urbana en el municipio de São Paulo, Brasil. *Estudios demográficos y urbanos*, 31(1), 87-113. <https://cutt.ly/yyPQivC>
- Dorigo, T.A. y Lamano-Ferreira, A.P. (2015). Contribuições da Percepção Ambiental de Freqüentadores Sobre Praças e Parques no Brasil (2009-2013):Revisão Bibliográfica. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 4(3), 31-45. <https://cutt.ly/lyPQfbq>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill. <https://go.aws/2WZ668L>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2010). *Resultados Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador. Fascículo Provincial Carchi*. <https://cutt.ly/ZyPQzpp>
- Orellana, G. (2016). *Construcción de instrumentos de investigación en ciencias sociales*.
- Ornés, S. (2014). La gestión urbana sostenible: conceptos, rol del gobierno local y vinculación con el marketing urbano. *Provincia*, 31, 147-171. <https://cutt.ly/iyPQEo6>
- Quintero, M. y Gómez, L. (2012). Del medio ambiente al espacio urbano. Ciudades latinoamericanas en la transición de ciudades difusas a ciudades compactas. *Provincia*, 27, 43-76. <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=55526545005>

BASES DE DATOS, PERCEPCIÓN REMOTA Y SIG APLICADOS A LA GESTIÓN AMBIENTAL

Monitoreo de la calidad del agua del lago Chinchaycocha, mediante técnicas de teledetección espacial.

Monitoring the water quality of the Chinchaycocha lake, thru remote sensing techniques.

Christian Ayala Jesús¹
y Marco Antonio Herrera Díaz
¹Esterd Consultores S.A.C., Perú
christian996971191@gmail.com

Recibido: 17/06/2019
Aceptado: 20/11/2019
Publicado: 27/12/2019

RESUMEN

Las técnicas de teledetección o percepción remota se pueden usar para la estimación de variables de calidad del agua como clorofila, partículas suspendidas totales y transparencia de agua. Este artículo presenta algoritmos empíricos para su estimación que utilizan los datos del sensor *Operational Land Imager* (OLI, por sus siglas en inglés), del satélite Landsat 8/LCDM. Los datos se tomaron en el lago Chinchaycocha, pues el mismo presenta sustancias nutritivas que generan el aumento de la producción de algas y otras plantas acuáticas, las cuales deterioran la calidad del agua. Se obtuvieron ecuaciones empíricas para estimar la clorofila a partir de la relación en los valores de reflectividad, con la utilización del método de Chávez, entre las bandas 3 y 5 del sensor OLI; la transparencia mediante el disco de secchi, por la de la influencia en las bandas 3 y 4, y partículas totales suspendidas de la influencia en la banda 5; todo lo cual arrojó como resultado mapas del lago Chinchaycocha donde se muestran los valores de estos parámetros de calidad del agua. La investigación valida la efectividad de las técnicas utilizadas.

PALABRAS CLAVE: estado trófico, lago, *operational land imager*, reflectividad.

ABSTRACT

The remote sensing technique or remote perception can be used to estimate the water quality variables, such as chlorophyll, total suspended matter and water clearness. This article presents empiric algorithms for its estimation which use the Operational Land Imager (OLI) sensor data from the satellite Landsat 8/LCDM. The data were taken from the Chinchaycocha lake, because it has nutritive substances that improve the algae production and other aquatic plants that deteriorate the water quality. We obtain empiric equations to estimate chlorophyll on the relation of reflectivity values with the Chavez method, between 3 and 5 OLI sensor bands; the transparency through the disco de secchi, the influence on the 3 and 4 bands; and the total suspended matter influence on band 5; shows as a result, maps of Chinchaycocha lake were the values of this parameters can be seen. This investigation supports the techniques used.

KEYWORDS: lake, operational land imager, reflectivity, trophic state.

INTRODUCCIÓN

El estado eutrófico de las aguas es un problema fundamental, pues puede ocasionar el aumento de la turbidez y el cambio de su color hacia el verde, debido a un aumento en la abundancia de fitoplancton, lo cual es perjudicial (Moncayo y Bueno, 2016). Según la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), la eutrofización se define como el enriquecimiento del agua por sustancias nutritivas que generalmente conduce a cambios, tales como el aumento de la producción de algas y otras plantas acuáticas, el deterioro de su calidad y ecosistema (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 1982). Es por ello que resulta importante realizar un monitoreo de la calidad del agua, para así poder determinar posibles soluciones. Por otra parte, la teledetección es la técnica de poder obtener información sin estar en contacto físico con el medio; esto se realiza a través de sensores que se encuentran acoplados en las plataformas conocidas como satélites, los cuales giran alrededor de la tierra realizando tomas de información por medios de los mismos. El tiempo que un satélite demora en pasar por el mismo punto se llama periodo de revisita, y gracias a esto es posible realizar un seguimiento temporal.

La resolución espacial del sensor OLI, del satélite Landsat 8 (30 metros/píxel), es apropiada para poder realizar el estudio de la calidad del agua y determinar algunas variables. La resolución espectral de otros sensores como MODIS, a bordo del Satélite AQUA y TERRA sería la más adecuada, pero su resolución espacial no es apropiada en este estudio que oscila de 250 a 1000 metros/píxel. La ventaja del sensor OLI es que permite monitorear variables de calidad del agua como transparencia, partículas suspendidas en el agua y clorofila-a (Doña *et al.*, 2014; Moncayo y Bueno, 2016).

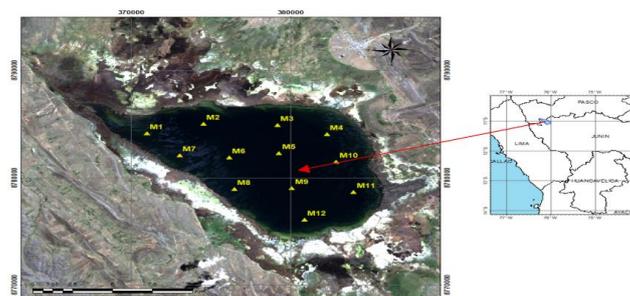
El objetivo de este trabajo es realizar ecuaciones empíricas para poder estimar las tres variables de calidad del agua, con ayuda de muestras tomadas en el lago Chinchaycocha, pues el mismo posee características hipertróficas, debido a que parte de los desechos de la población y la actividad turística discurren en él afectándolo, igual que la actividad minera. Si se continúa sin preservar estas aguas se deterioran con el tiempo y será imposible recuperarlas (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, 2015).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El lago Chinchaycocha está ubicado a 4 200 msnm en los Andes centrales, distritos de Ondores, Carhuamayo y Junín de la región Junín; y distritos de Ninacaca y Vicco de la región Pasco. Se encuentra ubicado dentro de la reserva nacional, protegido por el Servicio Nacional de áreas Naturales Protegidas (SERNANP). El lago Chinchaycocha es reconocido por la Convención Ramsar desde el año 1997 como un humedal de relevancia internacional, debido a su importante hábitat para las aves acuáticas.

Figura 1. Distribución de las muestras tomadas en campo.



Fuente: *Elaboración propia.*

Datos basados en el campo

Los datos tomados en campo corresponden a clorofila-a (Ch-l en mg/L); transparencia del agua mediante el *disco de Secchi* en metros (SD en m); y la concentración de sólidos suspendidos totales (TSS en mg/L). Para ello se tomaron un total de 12 muestras en el lago (*tabla 1*). La concentración de clorofila-a se utiliza para estimar la biomasa de algas, por ello se estimó extrayendo muestras en frascos de vidrio, llevados al laboratorio. La transparencia del agua se midió con el disco de *Secchi*, que también se utiliza para estimar el estado trófico de las aguas, debido a que esta se ve afectada por el color, las algas y las partículas suspendidas. La concentración de sólidos suspendidos totales, que incluye partículas muertas, inertes y degradadas, se valoró extrayendo muestras de agua en frascos de vidrio, enviados al laboratorio para su respectivo análisis.

Tabla 1. Muestras tomadas en el lago Chinchaycocha, coordenadas UTM WGS 84 Zona 18 Sur.

MUESTRAS	COORDENADAS UTM		CHL-A (MG/L)	TSS (MG/L)	DS (M)
	ESTE (X)	NORTE (Y)			
M1	370986	8784190	22.32	21.12	1.11
M2	374542	8785079	18.06	10.15	0.56
M3	379177	8784931	17.92	9.34	0.61
M4	382268	8784085	17.31	8.40	0.39
M5	379262	8782328	16.54	7.80	0.45
M6	376151	8781926	20.66	7.50	0.52
M7	373039	8782116	18.67	14.3	0.81
M8	376468	8778983	22.42	9.8	0.52
M9	380066	8779047	15.80	8.79	0.54
M10	382839	8781502	18.16	9.20	0.30
M11	383940	8778687	16.50	8.20	0.30
M12	380850	8776126	18.67	15.84	0.39

Nota: Los datos se tomaron en la fecha y hora de adquisición de la imagen Landsat 8 (01/10/2017 a las 15:00 horas UTC). **Fuente:** *Elaboración propia*.

Datos satelitales

Las imágenes multiespectrales que se usaron corresponden al sensor OLI del satélite Landsat 8/LCDM, que se puede descargar libremente del Servicio Geológico de los Estados Unidos (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Los archivos de la USGS, de las imágenes OLI de Landsat 8/LCDM, permiten realizar un seguimiento temporal a partir del año 2013 hasta la actualidad, y determinar no solo el estado trófico de las aguas, sino también el monitoreo de la vegetación mediante índices, gracias a las características espectrales del sensor OLI/TIRs de Landsat 8/LCDM (Ariza, 2013).

Tabla 2. Características del Satélite Landsat 8/LCDM.

Sensor	Banda	Espectral (μm)	Resolución		Radiométrica (bits)	Área de cobertura (km^2)
			Espacial (m)	Temporal (días)		
Landsat 8 OLI/TIRs	1	0.43-0.45	30			183 x 170
	2	0.45-0.51	30			
	3	0.53-0.59	30			
	4	0.64-0.67	30			
	5	0.85-0.88	30			
	6	1.57-1.65	30	16	12	
	7	2.11-2.29	30			
	8	0.50-0.68	15			
	9	1.36-1.38	30			
	10	10.60-11.19	100			
	11	11.50-12.51	100			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Sensor y escena utilizada en este trabajo.

IMAGEN	FECHA
Landsat 8/LCDM (Path/row: 067/008)	01-10-2017

Fuente: Elaboración propia.

Pre-procesado de Landsat 8/LCDM

El pre-procesado de las imágenes Landsat consistió en la calibración radiométrica y la corrección atmosférica. La calibración radiométrica se realiza para poder convertir los datos medidos por el sensor (CD) a radiancia L ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$) para cada banda espectral «i» (Ariza, 2013).

$$L_i = M_L \cdot DN_i + A_L \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde

- L_i : Radiancia espectral del sensor
- M_L : Multiplicativo para la banda i
- A_L : Aditivo para la banda i.
- DN_L : Número de cuenta digital de la imagen

Estos coeficientes de calibración se encuentran dentro del archivo metadato de la imagen. Se utilizaron diversos métodos de corrección atmosférica entre el FLASH, QUAC y el método de Chávez o del punto oscuro, utilizado solo este último para poder calcular la reflectividad de la superficie. El método de Chávez permite obtener directamente una imagen de reflectividad de la superficie a partir de una imagen de radiancias en el sensor, sin necesidad de calcular la reflectividad TOA (techo de la atmósfera) como paso intermedio. En dicho método se considera que la radiación solar difusa es cero y la transmisividad atmosférica entre la superficie y el sensor es la unidad (Brizuela *et al.*, 2007). Se calculó la reflectividad de superficie mediante la siguiente ecuación:

$$\rho_{sup} = \frac{d^2 \cdot \pi \cdot (L_i - L_{camino})}{t \cdot E_0 \cdot \cos\theta_z} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde

- ρ_{sup} : Reflectividad de superficie
- d : Distancia de la tierra al sol en unidades astronómicas
- L_i : Radiancia espectral del sensor
- L_{camino} : Radiancia camino
- t : Transmisividad atmosférica
- E_0 : Irradiancia solar estratosférica
- $\cos\theta_z$: Coseno del ángulo cenital solar

La radiancia camino se calculó a partir de la siguiente expresión (Lim y Choi, 2015):

$$L_{camino} = L_{min} - L_{1\%} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde

- L_{min} : Es radiancia TOA correspondiente al número de cuentas digitales mínimo para cada banda.
- $L_{1\%}$: Es el valor de radiancia que tiene al menos el 1% de los píxeles de la imagen.

El $L_{1\%}$ se calcula como (Lim y Choi, 2015):

$$L_{1\%} = \frac{0.01 \cdot t \cdot E_0 \cdot \cos\theta_z}{d^2 \cdot \pi} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde

- d : Distancia de la tierra al sol en unidades astronómicas
- t : Transmisividad atmosférica
- E_0 : Irradiancia solar estratosférica
- $\cos\theta_z$: Coseno del ángulo cenital solar.

Desarrollo de algoritmos

Para poder realizar las comparaciones se realizaron regresiones lineales entre ecuaciones aplicadas a las bandas del sensor OLI de Landsat 8/LCDM. En el presente trabajo se abordará la reflectividad de la superficie de la banda 5 (infrarrojo cercano, «b5»), banda 4 (rojo, «b4») y banda 3 (azul, «b3»). Las mismas son indispensables para poder determinar variables de calidad del agua, debido a su respuesta espectral. Además, se tomaron ecuaciones propuestas por diferentes autores con la finalidad de ver su similitud entre la realidad de estudio y situación actual. Finalmente, se seleccionaron las regresiones que muestran el mejor rendimiento en función de los parámetros estadísticos (Duan *et al.*, 2006; López y Caselles, 1987).

Tabla 4. Algoritmos para estimación de sólidos suspendidos totales con datos de reflectividad de superficie de Landsat 8/LCDM.

AUTOR	ALGORITMO	a	b	c	R ²
Algoritmo propuesto	$a + b \cdot OLI5$	2.99	337	-	0.69

Nota: a y b son los coeficientes de regresión y R² es la correlación de los datos de campo con los datos obtenidos del sensor. **Fuente:** *Elaboración propia.*

Tabla 5. Algoritmos para estimación de transparencia de agua con datos de reflectividad de superficie de Landsat 8/LCDM.

AUTOR	ALGORITMO	a	b	c	R ²
Algoritmo propuesto	$a + b \cdot OLI3 + c \cdot OLI4$	1.16	-3.83	-2.77	0.81

Nota: a, b y c son los coeficientes de regresión y R² es la correlación de los datos de campo con los datos obtenidos del sensor. **Fuente:** *Elaboración propia.*

Tabla 6. Algoritmos para estimación de clorofila-a con datos de reflectividad de superficie de Landsat 8/LCDM.

AUTOR	ALGORITMO	a	b	c	R ²
Algoritmo propuesto	$a + b \cdot OLI3 + c \cdot OLI5$	2.05	132	197	0.77

Nota: a, b y c son los coeficientes de regresión y R² es la correlación de los datos de campo con los datos obtenidos del sensor. **Fuente:** *Elaboración propia.*

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Datos basados en campo

Los datos de campo confirman que este lago posee una transparencia (DS) con un mínimo de 0.48 m, el valor máximo de concentración de clorofila-a es de 54.93 mg/L y los sólidos suspendidos totales son de 16.18 mg/L (*tabla 1 y figura 3*).

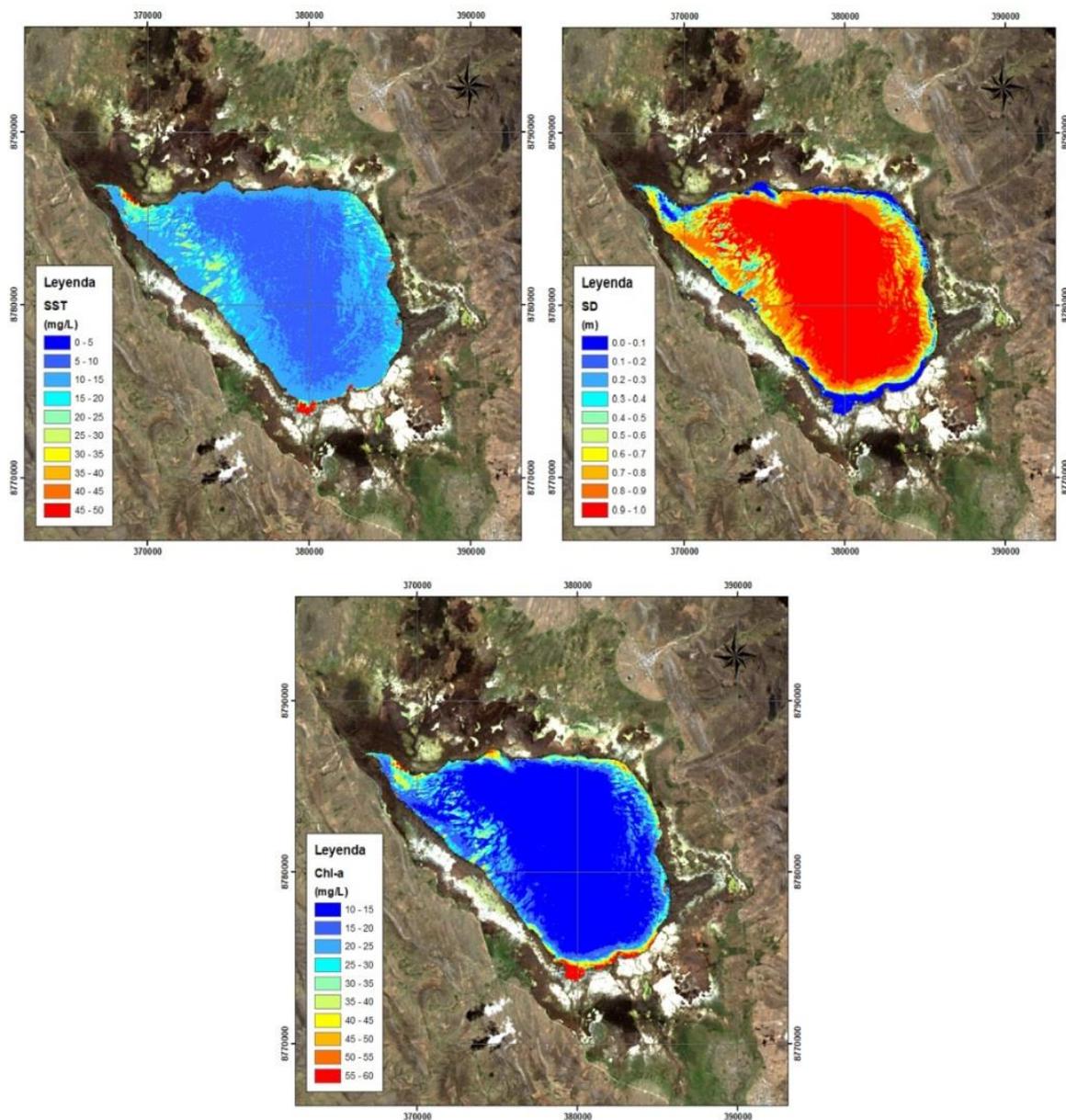
Algoritmos propuestos

1. *Transparencia (SD):* Al utilizar la reflectividad de la banda 4 (banda roja) y la banda 3 (banda azul) del sensor OLI de Landsat 8, se obtuvo una correlación de 0.69 (*tabla 4 y figura 3*) con los datos medidos en campo.

2. *Concentración sólidos suspendidos totales:* En este caso, la banda 5 del sensor OLI mostró los mejores resultados para la estimación de TSS. Con respecto a la comparación entre los valores modelados y medidos de TSS para el conjunto de datos de prueba, se tuvo en cuenta que el algoritmo propuesto muestra una correlación de 0.81 (*tabla 5 y figura 3*) con los datos medidos en campo.

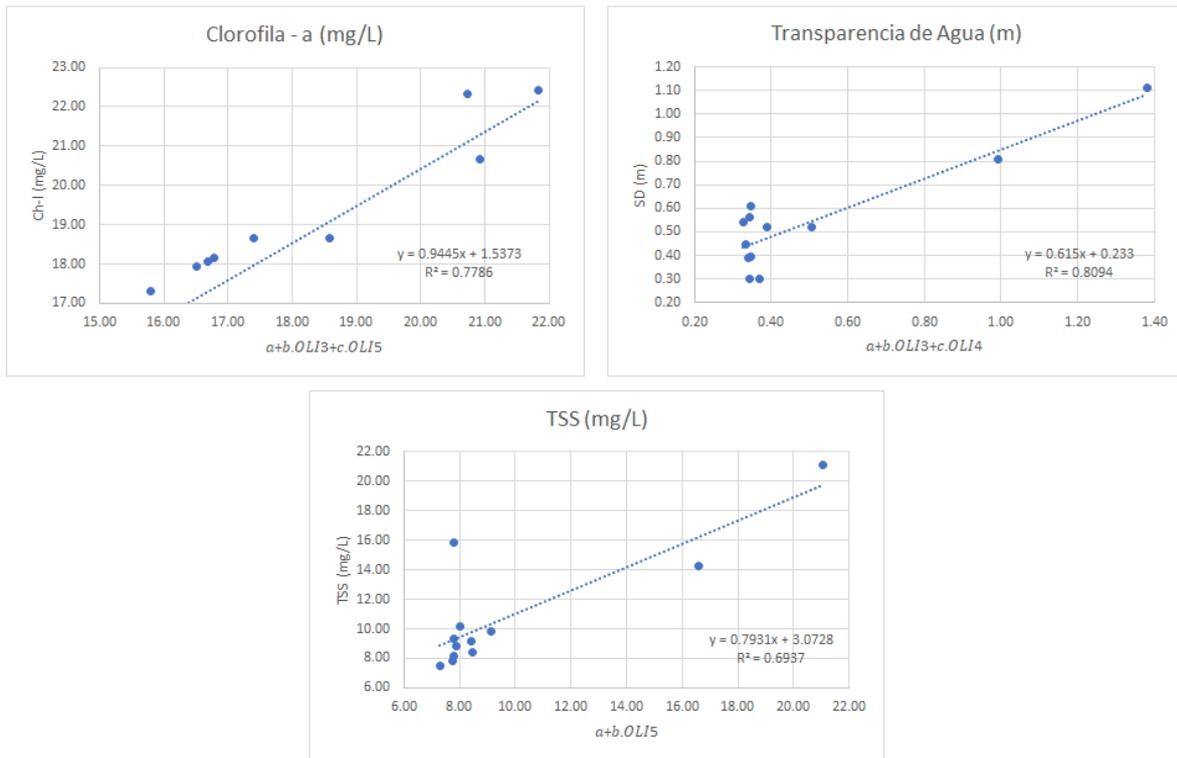
3. *Concentración de clorofila-a*: En una primera parte, se intentó relacionar el nivel de clorofila-a directamente a OLI 3 (banda roja), propuesto por Domínguez *et al.* (2009) a TM2 como una sola variable de entrada, donde solo utilizó la reflectividad de la banda 2 (banda roja) mediante el sensor TM de *Landsat 5*, pero los resultados no fueron satisfactorios, debido al bajo valor de ajuste y los altos errores obtenidos. Finalmente, se obtuvo la ecuación utilizando la banda 3 y la banda 5 del satélite *Landsat 8*; en este caso se obtuvo un coeficiente de regresión de 0.77 (*tabla 6 y figura 3*). El algoritmo propuesto se aplicó a estos grupos de datos reservados para las pruebas, y los resultados se compararon con los datos medidos en el terreno.

Figura 2. Mapas elaborados a partir de las ecuaciones propuestas. En la parte superior derecha se obtuvieron los sólidos totales suspendidos, en la parte superior izquierda la transparencia de agua y en la parte inferior el nivel de clorofila-a.



Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 3. Gráfica de las correlaciones obtenidas mediante los datos calculados con las ecuaciones propuestas para Landsat 8 y los datos obtenidos en campo.



Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Los algoritmos utilizados fueron validados en el lago Chinchaycocha, respaldados por campañas adicionales de campo, y muestran resultados aceptables en términos de estimación de clorofila-a y sólidos suspendidos en correlaciones de 0.77 y 0.69 respectivamente. Sin embargo, algunas discrepancias se incrementaron al monitorear la transparencia del agua como consecuencia de los bajos valores de este parámetro y las condiciones de viento en la sierra de Junín, lo que ocasionó un gran error relativo en la determinación de este parámetro.

El uso de imágenes del sensor OLI es especialmente atractivo para estudiar la evolución de la calidad del agua del lago Chinchaycocha. Además, la similitud de las ecuaciones propuestas por diferentes autores mediante el sensor TM puede relacionarse con el sensor OLI, debido a su similitud en la respuesta espectral. Los usuarios tienen acceso gratuito a los archivos *Landsat*, disponible en línea de la USGS.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ariza, A. (2013). *Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. <https://cutt.ly/JyPROFF>
- Brizuela, A., Aguirre, C. y Velasco, I. (2007). *Aplicación de métodos de corrección atmosférica de datos Landsat 5 para seguir análisis multitemporal*. CONICET.

- Domínguez, J.A., Chuvieco, E. y Sastre, A. (2009). Monitoring transparency in inland water bodies using multispectral images. *International Journal of Remote Sensing*, 30(6), 1567–1586. <https://doi.org/10.1080/01431160802513811>
- Doña, C., Sanchez, J., Caselles, V., Domínguez, J. y Camacho A. (2014). Empirical Relationships for Monitoring Water Quality of Lakes and Reservoirs Through Multispectral Images. *IEEE Journal of selected topics in applied earth observation and remote sensing*, 7(5), 1632-1641. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6730928>
- Duan, H., Zhang, Y., Zhang, B., Song, K. y Wang, Z. (2006). Assessment of Chlorophyll-a concentration and trophic state for Lake Chagan using Landsat TM and field spectral data. *Environ Monit Assess*, 129(1-3), 295-308. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9362-y>
- Lim, J. y Choi, C. (2015). Assesment of water quality based on Landsat 8 operational land imager associated with human activities in Korea. *Environ Monit Assess*, 187(6), 384. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4616-1>
- López-García, M. J. y Caselles, V. (1987). Use of Thematic Mapper data to assess water quality in Albufera lagoon of Valencia (Spain). *Proc.13th Ann. Conf. of Remote Sensing Society. Nottingham*, 510-519. <https://cutt.ly/pyPRVqT>
- Moncayo, R., y Bueno M. (2016). Evaluación Espacio-Temporal del estado trófico de un lago de grandes dimensiones usando imágenes MOD09GA. *Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 7(1), 27-42. <https://doi.org/10.18359/rcin.1893>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (1982). *Eutrophisation des Eaux. Methodes de surveillance, d'évaluation et de lute.*
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. (2015). *Humedales en Áreas Naturales Protegidas, fuentes de vida y desarrollo.* Ministerio del Ambiente del Perú. <https://cutt.ly/JyPR5Ct>

MANEJO SUSTENTABLE DE TIERRAS Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

Contribución a la seguridad alimentaria en el municipio de Cabaiguán.

Contribution to the food safety on Cabaiguán municipality.

Onelia Guevara Reyes¹, Francisco Hernández Somoza, Raquel de la Cruz Soriano y Nelson León Orellana

¹Universidad de Sancti Spíritus, Cuba
onelia@uniss.edu.cu

Recibido: 17/06/2019

Aceptado: 20/11/2019

Publicado: 27/12/2019

RESUMEN

La innovación agropecuaria local es clave en el desarrollo de niveles productivos en las producciones agropecuarias para el logro de la seguridad alimentaria de cada territorio. El objetivo de la ponencia consistió en analizar los resultados de la aplicación de un sistema de acciones como contribución a la seguridad alimentaria en Cabaiguán. Se utilizó la metodología que sustenta la ejecución del Proyecto de Innovación Agropecuaria Local y el procedimiento para la capacitación agropecuaria, mediante el aprendizaje en la acción. Este proceso se realizó en los grupos de aprendizaje, donde cada grupo planificó, implementó las actividades; reflexionó sobre las lecciones aprendidas y re-planificó para un próximo ciclo de aprendizaje. Se comenzó con la selección y designación de las entidades productivas vinculadas directamente al proyecto, de productores de confianza, quienes, de conjunto con el gobierno, la Dirección Municipal de la Agricultura, y el Centro Universitario Municipal constituyeron una plataforma local multiactoral de gestión para la innovación agropecuaria. La experimentación campesina logró impactos importantes relacionados con una mayor eficiencia en la finca, medida en el aumento del rendimiento de sus parcelas y de la diversidad por el uso mayor de especies vegetales y animales. Se iniciaron los Grupos de Innovación Agropecuaria Local, como espacios de participación con enfoque de género, la impartición de acciones de capacitación para la implementación de buenas prácticas aportadas por el sistema de innovación local, el intercambio con productores de experiencia y la socialización de resultados por parte de investigadores, docentes, estudiantes y productores en un evento regional.

PALABRAS CLAVE: capacitación, innovación agropecuaria, seguridad alimentaria.

ABSTRACT

The objective of this work was to analyze the result of the application of an action system as a contribution to the food safety in Cabaiguán. The methodology used was the one that sustain the realization of the Local Agricultural Innovation Project and the Agricultural capacitation, through the learning action. This process has been done on the learning group, where each group planned the action and activities, implemented, analyze based on results and re-planned for a new learning cycle. We start with the selection and designation of the productive entities bound to the project, truthful producers; they along with the government, Agricultural Municipality Management and Municipality University Center were a local multi actor platform for agricultural innovation. The farmers' experimentation achieved great impact related with higher farm efficiency; it was measure on the production rise and diversity of vegetables and animals. Local Agricultural Innovation Groups (GIAL) have been initiated, as participation spaces with a gender view, the capacitation for the implementation of good practices delivered for the local innovation system, the interchange with

experienced producers and the socialization of the results by the investigators, scholars, students and producers in a regional event.

KEYWORDS: agricultural innovation, capacitation, food safety.

INTRODUCCIÓN

Los conocimientos y saberes acumulados requieren de su introducción en la práctica agropecuaria, especialmente en el contexto actual donde la producción de alimentos ha sido declarada por el Estado cubano como un elemento clave de seguridad nacional, en una etapa marcada por un fuerte debate sobre:

Los desafíos actuales de la agricultura donde se analizan alternativas para el uso de formas descentralizadas y participativas de innovar, producir y comercializar alimentos.

En Cuba existen resultados científicos en las diferentes instituciones en el sector agropecuario y se implementan diferentes proyectos. (Tejeda, 2015, p. 5)

La capacitación y aprendizaje por parte de los productores, independientemente de las formas de gestión, contribuyen a que las buenas prácticas gestionadas por el sistema de innovación local sean implementadas por las estrategias municipales y los grupos de innovación agropecuaria locales. Por tanto, es fundamental la creación y sistematización de espacios de participación de los implicados (cuadros, facilitadores y productores) con el objetivo de consolidar la innovación agropecuaria local sustentada en los procesos y en las dinámicas participativas. Es clave en el estado de desarrollo social y correspondencia con el modelo económico actual «favorecer la participación de las mujeres y los jóvenes de comunidades rurales participen y se beneficien prioritariamente» (Romero *et al.*, 2009, p. 10).

Por lo antes expuesto resulta esencial el logro de la extensión agraria y el desarrollo rural. En este sentido se asume el concepto de la extensión como «la mejora de la gestión del conocimiento agrario o como la intervención sistemática sobre los procesos de generación, intercambio y utilización de conocimiento e información agraria» (Sánchez de Puerta, 1996, p. 3).

La agricultura es «uno de los sectores claves en los que se han realizado importantes transformaciones orientadas a hacer frente a la imperiosa necesidad de incrementar la producción de alimentos y reducir el nivel de importaciones» (Hernández *et al.*, 2016, p. 9). Existen varios factores que determinan la necesidad de impulsar la innovación agropecuaria local, entre los que se pueden mencionar el déficit de insumos para el sector agrario existente, la producción de alimentos en condiciones de estrés biótico y abiótico, la producción agropecuaria se realiza en condiciones ambientales muy específicas. Por tanto, se hace cada vez más difícil generalizar una variedad o paquete tecnológico en extensas y diferentes áreas geográficas, lo que hace que los productos del sistema formal de innovación tengan niveles de adopción y diseminación menores que lo esperado.

Estas necesidades tienen sus particularidades en cada municipio del país; en el caso particular de Cabaiguán, municipio cubano perteneciente a la provincia Sancti Spíritus, se ejecuta el Proyecto de Innovación Agropecuaria Local (*PIAL*), en un contexto enfocado en el diseño e implementación de diversas medidas orientadas a la actualización del modelo económico cubano y que garanticen la seguridad alimentaria según se expresa en los *Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución* (2016). En este documento se le ha dado especial atención al monitoreo y evaluación participativa y a la difusión de las experiencias sistematizadas. Igualmente se han tratado los cuatro temas transversales: Diversidad genética y tecnológica; transversalización de género;

adaptación y mitigación al cambio climático; y trabajo con jóvenes. El objetivo del presente trabajo consiste en analizar los resultados de la aplicación de un sistema de acciones como contribución a la seguridad alimentaria en Cabaiguán.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las decisiones tomadas entre otras fueron: revisar las acciones, ver las limitaciones de la planeación, trazar nuevas metas e iniciativas, trabajar arduamente, con más claridad en función de darle continuidad a la interminable tarea de la materialización de la innovación agropecuaria local. Se utilizó la metodología o marco lógico que sustenta la ejecución del *Proyecto de Innovación Agropecuaria Local (PIAL)* (Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas [INCA], 2012) y el procedimiento para la capacitación agropecuaria resumido por Marzín, López y Cid (2003) y Ramírez, Hernández y Marrero (2009).

También fue empleado el Aprendizaje e Investigación en la Acción (AIA) conformado por una serie de metodologías que contribuyen a construir alternativas que mejoran las relaciones entre los actores locales, basado en una participación activa de los mismos. Se propuso que este proceso de AIA se desarrollara en los grupos de aprendizaje, donde cada grupo planificó las acciones o actividades (plan operativo de acción o propuesta de intervención), las implementó (ejecución de las acciones), reflexionó sobre las lecciones aprendidas (identificación de buenas y malas prácticas) y re-planificó (nuevo plan operativo de acción) para un próximo ciclo de aprendizaje.

Dicha metodología se aplicó en cada Grupo de Innovación Agropecuaria Local (GIAL), las Cooperativas de Producción Agropecuaria (CPA) y las Cooperativas de Créditos y Servicios (CCS) incorporadas al proyecto a través del procedimiento siguiente:

Establecer la jerarquía de objetivos; implementar las acciones de Innovación Agropecuaria Local; realizar la medición del impacto: se requiere establecer indicadores de impacto, las fuentes de datos y los supuestos; y evaluar efectos: se requiere establecer indicadores de efecto, las fuentes de datos, los supuestos y los productos e indicadores de producto. (Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2012, p. 12)

El desarrollo de la investigación se sustentó de forma general en el método dialéctico como método universal del conocimiento, permitiendo determinar en el objeto de estudio las contradicciones, los nexos y las soluciones al problema investigado. Además, se realizó la caracterización y diagnóstico del municipio en la esfera agropecuaria. Se aplicaron métodos empíricos como encuestas y entrevistas a directivos, técnicos, productores para la selección de las muestras de confianza, la revisión de documentos, la observación y como técnicas la guía de observación, la guía de revisión de documentos y la encuesta. Para la propuesta de las acciones se asumieron determinados rasgos generales (De Armas, Lorences y Perdomo, 2003), según estos autores a dichas acciones las distinguen el enfoque sistémico, en el que predominan las relaciones de coordinación estructuradas por etapas relacionadas con las acciones de orientación, ejecución y control. Estas acciones se caracterizaron por ser dialécticas, contextuales, personalizadas, dinámicas, objetivas, operativas, formativas y sistemáticas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De manera oficial el municipio Cabaiguán se insertó en el año 2016, aunque ya se habían ejecutado acciones previas desde el año 2012 a solicitud de la Universidad de Sancti Spíritus José Martí (UNISS), fundamentalmente en actividades de capacitación y prueba de variedades. En la *tabla 1* se

presentan los diversos componentes estructurales para su ejecución, descripción y los roles desempeñados por cada uno de ellos.

Tabla 1. Caracterización de los componentes estructurales del proyecto.

Componentes del proyecto	Composición/ Descripción	Roles fundamentales
Plataformas Locales para la Innovación Agropecuaria	Formada por representantes del Gobierno Municipal, los GIAL, representantes de Asociación Nacional de Agricultores Pequeños (ANAP), Asociación Cubana de Producción Animal (ACPA), Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales (ACTAF), Federación de Mujeres Cubanas (FMC), Ministerio de educación Superior (MES), Ministerio de la Agricultura (MINAG), Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente(CITMA), Ministerio de Comercio Exterior (MINCEX).	<ul style="list-style-type: none"> - Funcionan como espacios locales de interacción, intercambio y armonización a nivel municipal para diseminar en las instancias y actores claves del municipio y la provincia, las buenas prácticas del PIAL (el aprendizaje en la acción, el acceso a la diversidad y otras), así como los resultados de monitoreo y evaluación. - Planificación estratégica de la implementación del Proyecto en los municipios, de acuerdo a las especificidades y prioridades del territorio, que tributen a los objetivos y principios del mismo. - Identifican iniciativas y programas claves en el ámbito agropecuario a nivel municipal y diseñan e implementan acciones de armonización y sinergias. - Buscan y socializan nuevas oportunidades de fondos.
Grupos de Innovación Agropecuaria Local (GIAL)	Formados por agricultoras/es de varias fincas y/o cooperativas y otras formas agroproductivas, y en ocasiones por otros actores locales.	<ul style="list-style-type: none"> - Introducción, experimentación, discusión y diseminación local de nuevas variantes agroproductivas, tecnológicas y/o de comercialización, que contribuyan a la seguridad y soberanía alimentaria, y adaptación al cambio climático de sus comunidades. - Diversificación de sus producciones con carácter agroecológico, con énfasis en incrementar el valor agregado y la calidad de las producciones, encaminado a la posible diferenciación de los productos de la innovación en los espacios locales de mercado. - Contribución y participación en los procesos de aprendizaje en la acción.

Muestras de confianza	Formado por los diferentes productores individuales especializados en determinadas producciones asociados a las Cooperativas de Crédito y Servicio.	<ul style="list-style-type: none"> - Diseminan las buenas prácticas incorporadas a sus producciones entre otros actores del contexto local, nacional e internacional. - Tenencia de una finca diversificada, con eficiencia en indicadores económicos y productivos. - Se logra la inserción de jóvenes y mujeres en las diferentes labores. - Logro de resultados destacados en el movimiento agroecológico. - Introducción de tecnologías avanzadas en la producción agropecuaria. - Uso eficiente y racional del agua. - Socialización de los resultados en los GIAL a través de diferentes formas de capacitación y la participación en eventos.
-----------------------	---	---

Fuente: *Elaboración propia.*

El aporte principal de la innovación presentada consistió en la ejecución del procedimiento que se describe en las acciones científico-tecnológicas. Con la metodología de AIA se logró la construcción de un nuevo conocimiento por diferentes actores locales a partir de los problemas identificados, así como las soluciones propuestas e implementadas (*tabla 2*).

Tabla 2. *Grupos de Aprendizaje y productos.*

Grupo de aprendizaje	Composición	Objetivos
Dinamizadores de la innovación local	Instituciones rectoras provinciales del PIAL: UNISS y el Centro Universitario Municipal Capitán Silverio Blanco Núñez (CUM).	Organizar los grupos de aprendizaje que se identifican en esta tabla.
Grupos de innovación local	Actores claves de la cadena agroalimentaria.	Facilitar el acceso y la disponibilidad de mayor diversidad de productos agropecuarios a los consumidores.
Técnicos-Universitarios	Profesionales que trabajan asociados a la ACTAF y la ACPA en la provincia y	Ofrecer servicios técnicos en todos los eslabones de la cadena

	el municipio.	agroalimentaria.
Plataformas Locales de Desarrollo Agropecuario	Decisores de políticas interesados en el PIAL y miembros destacados de las cadenas agroalimentarias locales (Gobierno, CUM, ANAP, Empresas, ACTAF, Brigadas Técnico Juveniles (BTJ), Unión de Jóvenes Comunistas (UJC), FMC, Agricultura Urbana, CITMA, GIAL.	Facilitar el mejoramiento del desempeño de las cadenas agroalimentarias en las zonas o escenarios de aprendizaje seleccionados.
Monitoreo y Evaluación	Representantes de los sectores claves relacionados con el sector agropecuario.	Diseñar un sistema de monitoreo y evaluación participativo.
Administración y Logística	Administradores, contadores y logísticos de PIAL.	Facilitar una gestión descentralizada, que permita a las Plataformas Locales para la Innovación Agropecuaria municipales una mayor participación en la planificación estratégica y financiera y la ejecución financiera transparente de los fondos del mismo.

Fuente: *Elaboración propia.*

Como resultado se planificaron e implementaron las acciones siguientes:

1. Seleccionar cuatro entidades productivas vinculadas al PIAL en el municipio Cabaiguán: CPA Aramís Pérez, CPA 10 de octubre, CPA Cuba Nueva, CCS Sergio Soto.
2. Seleccionar seis productores de confianza (productores destacados en los diferentes renglones productivos de la localidad, con prioridad en jóvenes y mujeres).
3. Establecer ocho Grupos de Innovación Agropecuaria Local (GIAL) que abarcan las principales actividades sociales, económicas y productivas: tabacaleros, plantas ornamentales, oleaginosas, de granos, de semillas, artesanos, cría porcina y minindustria.
4. Establecer la plataforma local multiactoral liderada por el vicepresidente del Gobierno municipal que atiende la Esfera agroalimentaria y que vincula a los principales factores del territorio: CITMA, ANAP, ACTAF, UJC, FMC, BTJ, CUM, Enseñanza Técnico Profesional del Ministerio de Educación (MINED), Partido Comunista de Cuba (PCC), CPA y CCS implicados, responsables de los GIAL, Agricultura Urbana, Empresa Agropecuaria, líderes de otros proyectos (BIOMAS, HÁBITAT y AGROCADENAS), Comunales, Delegación de la Agricultura, Comercio y Gastronomía.
5. Crear un banco de semillas con diferentes accesiones de frijoles (CPA Aramís Pérez) en los años 2015 y 2016 para la selección de las semillas con mejores indicadores para su posterior propagación por los productores del territorio. En el banco de semillas sembrado en 2016 se realizó un encuentro con personal interesado durante la cosecha, para seleccionar las mejores accesiones.

6. Ejecutar actividades de capacitación en las entidades productivas sobre temas prioritarios para la innovación agropecuaria local: producción de semillas, importancia y uso eficiente del agua, Medio ambiente, las buenas prácticas del PIAL y el Sistema de Innovación Agropecuaria Local (SIAL).
7. Realizar el evento regional Cadenas Agroalimentarias, Juventud y Género durante 4 años consecutivos como espacio de socialización de resultados y como un aspecto esencial en los ciclos de aprendizaje.

Los principales resultados de la aplicación de las acciones implementadas quedan expuestos en la siguiente tabla.

Tabla 3. Resultados de la implementación de la metodología del proyecto.

ETAPAS	RESULTADOS	
	GIAL DE SEMILLAS	GIAL DE TABACALEROS
Diagnóstico	Se realizó un pesquizado para determinar cuáles productores se dedicaban a producir semillas para su consumo y otros destinos.	Se seleccionaron nueve productores de avanzada del territorio en el cultivo del tabaco, de conjunto con autoridades de la empresa TABACUBA.
Establecimiento de la jerarquía de los objetivos	<ul style="list-style-type: none"> - Selección de productores de marcada experiencia en la actividad motivados y experimentados en estas prácticas. - Definir las tecnologías que aplican en sus plantaciones, enfatizando en las más novedosas. - Definir las especies a reproducir, enfatizando en las encaminadas a la sustitución de importaciones o que generen exportaciones. - Establecer paquete tecnológico en la producción de semillas de cada especie. 	<ul style="list-style-type: none"> - Selección de productores de marcada experiencia en la actividad y, a su vez, productores jóvenes menos experimentados, pero igualmente motivados. - Definir las tecnologías que aplican en sus plantaciones, enfatizando en las más novedosas. - Trabajar con variedades que mejor se adapten a las condiciones de las fincas. - Mejorar el uso de buenas prácticas.
Implementación de las acciones derivadas del PIAL	<ul style="list-style-type: none"> - Se realizan ferias provinciales de intercambio de experiencias y de materiales de reproducción. - Se realizan acciones de capacitación sobre: <ul style="list-style-type: none"> Manejo y conservación de suelos. Uso racional del agua. Empleo de abonos orgánicos y otras prácticas agroecológicas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se realizaron encuentros de intercambio entre los productores. - Se realizaron acciones de capacitación a través de las asambleas de las CCS donde se divulgaron las tecnologías a emplear en el cultivo del tabaco que mejor se adaptan: <ul style="list-style-type: none"> Conservación y mejora de

		suelos.
		Uso racional del agua.
		Empleo de abonos orgánicos y otras prácticas agroecológicas.
Medición del impacto	<ul style="list-style-type: none"> - Se logra la producción de semillas de excelente calidad de las siguientes especies: col, frijoles (negro, colorado y blanco), maíz, ajíes, pepino, tomate. - Se priorizó la producción de semillas de variedades autóctonas, mejor adaptadas a las condiciones locales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se logró el incrementar el área plantada de la nueva variedad de tabaco negro SS-2006. - Se incorporó un productor joven en la tecnología de tabaco tapado. - Se profundizó en los conocimientos sobre los temas: <ul style="list-style-type: none"> Cambio climático. Enfrentamiento a sequías prolongadas.
Evaluación de efectos	<ul style="list-style-type: none"> - Se incrementaron los conocimientos sobre temas tales como: <ul style="list-style-type: none"> Conservación y mejora de suelos. Uso racional del agua. Empleo de abonos orgánicos y otras prácticas agroecológicas. - Se incrementa la producción de semillas de las especies seleccionadas (prioridad a las locales). - Se precisa el logro de un valor de la producción de frijol de \$1 422 300 en el período. 	<ul style="list-style-type: none"> - La utilización de la nueva variedad de tabaco negro SS-2006 resultó beneficiosa a la agricultura tabacalera en general, pues los rendimientos en la actual campaña tabacalera han resultado superiores a los de la etapa precedente. - El incremento de los cultivos de tabaco tapado mejoran la economía de los cultivadores y del territorio en general. - Se precisa el logro de un valor de la producción de tabaco de \$14 294 327 en el período.
Diagnóstico	Como antecedentes en el patio se inició con especies de Begonias y Orquídeas.	Como antecedente, los autores contaban sólo con una cría de codornices.
Establecimiento de la jerarquía de los objetivos	<ul style="list-style-type: none"> - Caracterizar las variedades de plantas ornamentales que dispone la productora en la fase de inicio. - Definir la meta prevista para el incremento de nuevas variedades. - Identificar las variedades de plantas ornamentales para su adquisición en la 	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar tres intercambios y monitoreos con el ECM en la CPA Cuba Nueva para adquirir experiencias en la actividad de mini industria. - Dos sesiones de capacitación sobre acceso a la comercialización

	<p>localidad u otros territorios.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aplicar las prácticas fitotécnicas correspondientes a cada variedad para la sostenibilidad en su producción. - Evaluar los resultados del patio de plantas ornamentales. (Álvarez, 2008) 	<p>con expertos en el tema.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Capacitación sobre la obtención de licencia sanitaria. - Visitas a cinco mini industrias con resultados reconocidos. - Crear las condiciones necesarias en el hogar (el PIAL brindó apoyo) para comenzar la elaboración de los encurtidos.
Implementación de las acciones derivadas del PIAL	<ul style="list-style-type: none"> - Se implementaron las acciones 1,3 y 7 definidas en el cuerpo del trabajo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Iniciar el encurtido de huevos de codorniz. - Iniciar el encurtido de vegetales y algunos dulces en conserva que hoy son deficitarios para su comercialización.
Medición del impacto	<ul style="list-style-type: none"> - Se logró el incremento de especies y se beneficia la agricultura urbana al incorporar un patio al cultivo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se logró elaborar diferentes encurtidos (huevos de codorniz, vegetales de buena calidad). - Se logró comenzar la comercialización vinculada a una CPA insertada en el PIAL, de las producciones en mercados (ferias y otros).
Evaluación de efectos	<p>Efecto 1. Buenas prácticas aportadas por el sistema de innovación local:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Contribución a la implementación de la estrategia agropecuaria local, la producción y la futura comercialización de plantas ornamentales. <p>Efecto 2. Los Grupos de Innovación Agropecuaria Local (GIAL) se consolidan como espacios de participación local en el municipio.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Los indicadores de efecto: se logró la inserción del patio en el GIAL de plantas ornamentales. - Como fuentes de datos y mecanismos de verificación: evaluaciones, muestreos, entrevistas/ encuestas y estudios de caso. 	<p>Efecto 1. Se han obtenido diferentes variedades de encurtidos con buena calidad y aceptación por los consumidores. Se logró:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Incorporar otra opción para la conservación sana de alimentos. - Incorporar nuevos productos para la dieta de la población a precios accesibles. <p>Efecto 2. Incorporación al GIAL de la mini industria de un nuevo productor y su familia. Resultado de los indicadores de efecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Incorporar a los integrantes de la familia al GIAL (2 masculinos y 2

- Se diseminaron e incorporaron buenas prácticas de producción; diversas prácticas agroecológicas y especies adaptadas al cambio climático (cactus y otras especies suculentas).	femeninas, un joven y una joven), dando respuesta a la equidad de género y generacional.
- Incremento del número promedio de especies y variedades de plantas ornamentales y su propagación.	- Obtener una fuente de ingresos a la economía familiar al cerrar el ciclo de producción de materia prima, comercialización del producto procesado y conservado en la mini industria.
- Integración de las buenas prácticas del GIAL en los currículos docentes y líneas de investigación en las instituciones de enseñanza y científicas (CUM, MINED).	- Se logró de un efecto económico de \$14 000.
- Se logró un efecto económico de \$7 200.	Efecto 3. Mujeres de comunidades rurales y urbanas participan y se benefician de los procesos de innovación.
Efecto 3. Mujeres de comunidades rurales participan y se benefician de los procesos de innovación.	- Se logró incorporar dos mujeres, equidad de género y la participación de la familia.
- Se logró incorporar una mujer y equidad de género.	

Fuente: *Elaboración propia.*

Durante del 2012 y hasta la actualidad su implementación ha contribuido al desarrollo local (Pomares, 2006) a partir de lo cual se han logrado los siguientes resultados:

1. La selección de tres accesiones de frijoles como las más destacadas para el territorio en este año 2016, una parte de las semillas se entregó a la UNISS y otra parte se encuentra en manos de un productor que se encargará de propagarlas a través del GIAL de semillas y observarlas en la siguiente etapa de reproducción.
2. La realización de actividades de capacitación en las Asambleas Generales de las CPA Aramís Pérez, CCS Sergio Soto y CCS Nieves Morejón sobre los temas identificación del PIAL, la producción del frijol y los problemas actuales y sobre el agua y su importancia para la vida. Se realizaron tres actividades más en saludo al 5 de junio, Día Mundial del Medio ambiente.
3. La realización de visitas de asesoría a las principales muestras de confianza y entidades participantes para el intercambio, encaminados a promover la divulgación de experiencias sobre las mejores prácticas y resultados que se han obtenido en los renglones productivos de interés para los mismos.
4. Se han realizado 4 Talleres en el CUM Silverio Blanco Núñez del municipio Cabaiguán (2013, 2015, 2016 y 2017) sobre Cadenas agroalimentarias y Juventud y género, con resultados satisfactorios y buena participación de las entidades del territorio. Se ha logrado que los productores intercambien con otros no solo del municipio sino de la provincia y la nación, mostrando niveles de comunicación satisfactorios.
5. La realización en el CUM de Cabaiguán de un encuentro expositivo y de chequeo al PIAL, a nivel provincial, en marzo de 2016 por parte de auditores salvadoreños, con excelentes resultados y la participación de las entidades y productores involucrados.

6. La sensibilización y la divulgación de conocimientos en las entidades y productores sobre el empleo de prácticas de producción más amigables al Medio ambiente y su aplicación, también en la participación de jóvenes y mujeres en el quehacer económico de la localidad, según lo expresado por las autoridades de las mismas. Un ejemplo lo constituye el incremento de la aplicación de las prácticas agroecológicas en la CPA Aramís Pérez para el manejo de los cultivos con el consiguiente ahorro de portadores energéticos y beneficios al Medio ambiente (laboreo mínimo, empleo de estiércol y otras).
7. La motivación y creación de una actitud innovadora para la implementación de tecnologías en las fincas que mejoren los resultados productivos; la incorporación de mujeres y jóvenes en las diferentes labores contribuyendo a la mejora económica de la familia.

Se han logrado beneficios económicos, sociales y ambientales de la innovación a partir de la capacitación y el aprendizaje y la implementación progresiva de las buenas prácticas aportadas por el sistema de innovación local como parte de la estrategia municipal. Es significativa la creación de los GIAL y la plataforma local para la innovación agropecuaria, como espacios de participación para el fomento de la innovación sobre la base de procesos y dinámicas participativas donde los jóvenes y las mujeres de comunidades rurales participen y se beneficien prioritariamente.

Los beneficios económicos se estiman en un valor de \$202.5 por la capacitación de 721 participantes en 27 actividades, con un costo de 7.50 \$/hora por cada capacitación. Se aportaron \$15 737 827 por los GIAL (*tabla 3*) y \$1 300 por la asesoría realizada a las cooperativas del municipio: CPA Juan González, CCS Nieves Morejón y CPA Nueva Cuba, como extensión del proyecto.

Se aportan nuevas fuentes de empleo, la incorporación de jóvenes, de la mujer rural y de zonas urbanas en diversas tareas productivas y en el hogar como ente activo en la producción de alimentos; además en las zonas urbanas en la conservación y diversificación de especies de plantas ornamentales.

CONCLUSIONES

Las acciones aplicadas contribuyeron a la motivación de los productores e incrementaron el nivel de conocimientos a partir de la capacitación e intercambio como contribución a la seguridad alimentaria.

Se implicaron los pobladores del lugar donde se ejecutaron las acciones, las cuales constituyeron una oportunidad para el desarrollo comunitario sobre la base de la divulgación y la extensión de las buenas prácticas y las innovaciones locales, con principios agropecuarios ecológicamente sostenibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, A. (2008). Plantas ornamentales en Cuba: usos, diversidad y amenazas. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 29, 83-100. <http://www.uh.cu/centros/jbn/descargas/rjbn/xxix/rev7.pdf>
- De Armas N., Lorences, J. y Perdomo M. (2003). Aproximación al estudio de la metodología como resultado científico [no publicado]. Centro de Estudios de Ciencias Pedagógicas del Instituto Superior Pedagógico Félix Varela de Villa Clara.
- Hernández, C. A., Carrasco, M., Garcés, R. y Casas, R. (2016). *Colaboración y alianzas del Centro Universitario Municipal (CUM) en la Red Local de Conocimiento e Innovación: Estudio de caso de Camajuaní, Villa Clara, Cuba.*

- Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. (2012). *Diseminación del Fitomejoramiento Participativo en Cuba. Proyecto para Fortalecer la Innovación Agropecuaria Local (PIAL). III Fase.* <https://pial.ihatuey.cu/>
- Marzin, J., López, T. y Cid, G. (2003). *Manual de capacitación para la implementación de la metodología del proyecto de acompañamiento al sistema de extensión agraria.* Ministerio de la Agricultura y Centro de Investigaciones Agronómicas para el Desarrollo.
- Pomares, H. (2006). Tecnologías para el desarrollo local. Un camino de propuestas e interrogantes. En Guzón, A. (Coord.), *Desarrollo local en Cuba: Retos y perspectivas* (pp. 107-130). Editorial Academia.
- Ramírez N., Hernández A. y Marrero A. (2009). *Las nuevas tecnologías de la información y el desarrollo rural: propuesta para un debate* [Ponencia]. II Simposio Internacional de Extensionismo, transferencias de tecnologías, aspectos socioeconómicos y desarrollo agrario sostenible de la Estación Experimental Indio Hatuey, Matanzas, Cuba.
- Romero, M. I., Alejandro, M. y Delgado, S. (2009). *Género, Participación y Poder. Manual técnico-práctico de la ANAP.* Editorial Caminos.
- Sánchez de Puerta, F. (1996). *Extensión agraria y desarrollo rural: Sobre la evolución de las teorías y praxis extensionistas.* Editorial Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/fondo/pdf/8233_all.pdf
- Tejeda, G. (2015). *El enfoque de cadena como contribución a la sostenibilidad alimentaria. Proyecto: «Producción y conservación de semillas en la agricultura urbana y suburbana como componente esencial de la soberanía alimentaria».* Editorial PROAGRU.

MANEJO SUSTENTABLE DE TIERRAS Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

Efecto del uso de tecnologías limpias en el control de la broca del fruto del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari).

The effect on using clean technology in the drill control of coffee fruit (*Hypothenemus hampei* Ferrari).

Richard Leonardo Palma Ponce¹

y Jesús de los Santos Pinargote Chóez

¹Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador

richard.palma@unesum.edu.ec

Recibido: 17/06/2019

Aceptado: 20/11/2019

Publicado: 27/12/2019

RESUMEN

El uso inadecuado de pesticidas químicos en la agricultura contribuye a la contaminación ambiental, destacándose la toxicidad para los seres vivos, la capacidad de contaminación en la atmósfera, el suelo y el agua, sobre todo al utilizar sustancias persistentes o bioacumulativas. La investigación se realizó en Jipijapa, Paján y 24 de Mayo, provincia Manabí; su objetivo fue determinar el efecto del uso de tecnologías limpias para el control de *Hypothenemus hampei* Ferrari, mediante la ejecución de dos experimentos: Implementación de trampas artesanales (control etológico) y el uso de extractos de *Petiveria alliacea* y *Azadirachta indica*, que controlan el *Hypothenemus hampei* Ferrari (broca del fruto) en el cultivo del Coffe arábica. El control etológico estuvo conformado por cuatro tratamientos y tres repeticiones en cada localidad, elaborando 20 trampas/localidad con dos atrayentes semio-químicos (sustancias que llevan mensaje químico), distribuidos aproximadamente a 20 m x 20 m, registrando cada 15 días el número de brocas capturadas. Para los extractos se usaron tres concentraciones y tres frecuencias de aplicación, conformándose 10 tratamientos y tres repeticiones. Según la prueba de Tukey al $p < 0.05$ se determinó diferencia estadística entre tratamientos en ambos ensayos. Para el control etológico se obtuvo p-valor: 0.023, con un coeficiente de variación de 8.91. Para la aplicación de extractos se registró diferencia estadística en la mortalidad de adultos (p-valor: 0.0075; CV: 1.38%) y huevos con un p-valor: 0.0084 y CV de 0.85%, demostrándose que existen alternativas amigables al medio ambiente para el control de plagas en cafeto.

PALABRAS CLAVE: cafetos, contaminación ambiental, control etológico, extractos de plantas, semio-químicos.

ABSTRACT

The inadequate use of chemical peptides on farming contribute to the environmental contamination, highlighting the toxicity on human beings, the atmosphere contamination capacity, soil and water and above all the use of persistent substances or bioaccumulative. The investigation took place in Jipijapa, Paján y 24 de Mayo, Manabí province. The objective was to determinate the effect of use of clean technology for the control of *Hypothenemus hampei* Ferrari, thought the use of two experiments: implementation of craft traps (ethological control) and the use of *Petiveria alliacea* and *Azadirachta indica* excerpts that controls the *Hypothenemus hampei* Ferrari (fruit drill) on the Coffea arabica cultivate. The ethological control were four treatments and three repetitions on each place, making twenty locality/traps with two semi-chemicals (substances with chemical message) distributed approximately 20 m x 20 m, booking every the number of captured drills. For the excerpts

three concentration and three frequencies were applied, building ten treatments and three repetitions. According to the Tukey test on $p < 0.05$ we determinate the difference between tests. On the ethological control we obtain p-valor: 0.023, with a variation coefficient of 8.91. On the excerpts we obtain a statistic difference in adults' mortality (p-valor: 0.0075; CV: 1.38%) and eggs with a p-valor: 0.0084 y CV de 0.85%, proving that there are friendly options friendly for the environment on the coffee plantation control.

KEYWORDS: coffee plantation, environmental contamination, ethological control, plants excerpts, semi-chemicals.

INTRODUCCIÓN

El *Hypothenemus hampei* Ferrari, más conocida como *Broca del fruto*, es considerada como la principal plaga en el cultivo de café; la misma fue descrita por el entomólogo austriaco Ferrari en 1867, y a partir de 1903 es considerada una plaga de importancia en los países de África ecuatorial (Quemé, 2013). En Ecuador fue reportada por primera ocasión en 1981 en el cantón Chinchipe, provincia Zamora Chinchipe y posteriormente se dispersó en otras regiones hasta encontrarse en todas de las provincias productoras, con niveles de infestación que alcanzaron hasta el 85% (Tandazo *et al.*, 1997).

Las hembras perforan el fruto para depositar entre 12 a 20 huevos/grano, y después lo abandonan para continuar la ovoposición en frutos sanos; esto ocasiona pérdidas y el deterioro de la calidad del grano (Acacio y Gil, 2013), pues ocasionan reducción del peso del grano del café y facilita la entrada de hongos.

El trampeo dirigido sobre áreas sombreadas en el cafetal puede incrementar la eficacia de la captura de broca. Por otro lado, las condiciones climáticas óptimas de humedad relativa, temperatura y precipitación, así como el sombreado excesivo de los cafetales, permiten a la broca sobrevivir y desarrollarse con más facilidad (Solórzano, 2004).

La *azadirachtina* fue probada por primera vez en la Universidad de Keele, por Morgan, el descubridor de tal sustancia. En Kenia, ese mismo año K. Leuschner, trabajando en el Centro de Investigación de Café en Upper Kiambu, observó que un trozo de *azadirachta indica* metanólico, controló la chinche del café (*Antestiopsis orbitalis*) en cuanto a su crecimiento (Escobar, 2018, p.22).

Por otra parte, el uso inadecuado de los plaguicidas químicos en el control de las plagas de dicho cultivo provoca la contaminación de los recursos naturales, tal es el caso de la aplicación de insecticidas directamente al suelo o al follaje, los que pueden ser arrastrados por las lluvias y afectar de forma negativa el medio biofísico (Puerto, Suárez y Palacio, 2014).

Para Ramos (2001), otro método amigable al Medio ambiente en el control de plagas lo constituyen los extractos vegetales, elaborado con hojas, raíces y semillas de especies vegetales, mediante un proceso de fermentación, infusión y trituración como el de *Azadirachta indica* y *Petiveria alliacea*, que actúan de diversas formas contra varias especies de insectos con un efecto repelente, reduciendo la actividad alimentaria, bloqueando la metamorfosis de las larvas o ninfas, esterilizando adultos, destruyendo su apareamiento y su comunicación sexual. En ciertas especies impide la eclosión de los huevos, desfavorece la muda de las larvas y no permite la formación de crisálidas.

Según Fernández (2007) el bioinsecticida *Azadirachta indica* se puede usar para controlar gusanos defoliadores (en los viveros), broca del fruto, cochinillas, pulgones y escamas. Por lo tanto, la *azadirachtina* aparece como una materia activa de origen natural que resulta bastante eficaz; de hecho, es tan potente que una simple señal de su presencia previene a algunos insectos de incluso tocar las plantas. El efecto residual dura unos cinco días, aunque los efectos juvenoides, es decir, sobre el crecimiento, pierden su actividad normalmente después de uno a dos días bajo condiciones de campo.

El trabajo que se presenta contiene los resultados de la investigación realizada con el propósito de evaluar alternativas de fácil adopción por los caficultores, en la disminución del uso de plaguicidas o insecticidas químicos en el control de la principal plaga del *Coffea arabica*, *Hypothenemus hampei* Ferrari (*H. hampei* F.); para esto, fue evaluado el efecto del control etológico con dos difusores y la aplicación foliar de extractos de *Petiveria alliacea* y *Azadirachta indica*, en tres concentraciones con tres frecuencias de aplicación.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en fincas de diferentes productores cafetaleros, ubicadas en zonas agroecológicamente apropiadas para la producción de café arábigo en la zona Sur de la provincia Manabí, específicamente en los cantones de Jipijapa, Paján y 24 de mayo. En la *tabla 1* se detalla la ubicación de los lotes experimentales.

Tabla 1. Ubicación de los ensayos de la investigación sobre las tecnologías limpias para el control de la broca del fruto del café *Hypothenemus hampei* Ferrari.

N°	Ensayo	Productor	Coordenadas UTM		Ubicación	
			X	Y	Sitio	Cantón
1	Control etológico	Asociación 15 de diciembre	567633	9824990	Campozano	Paján
		Lautaro Peñafiel	567092	9848056	Los Ángeles	24 de Mayo
		Gerardo Chóez Magallanes	553000	9837357	El Descanso	Jipijapa
2	Broca- nem	Agua Santa Chóez	549762	9836027	La Susana	Jipijapa

Fuente: Elaboración propia.

Figura 1. Forma de capturar *Hypothenemus hampei* Ferrari en frutos de café.



Fuente: Elaboración propia.

El control etológico consiste en el trapeo (trampa + atrayente) y permite capturar la broca que se encuentra volando durante su fase de migración. Las trampas se recomiendan instalarlas aproximadamente 90 días después de la floración y se recogen después de la cosecha (Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura en Centroamérica, Panamá, República Dominicana y Jamaica [PROMECAFÉ], 2007).

Para la construcción de las trampas se usaron botellas vacías (tres litros), frascos de plástico (100 ml y 200 ml), café tostado y molido, alcohol metílico, alcohol etílico, aguardiente, agua, estilete, cinta adhesiva y alambre (Duicela, 2011).

Preparación del difusor

En las tapas de los frascos de plástico se realizó una pequeña abertura para gasificar. Posteriormente se colocó en el interior del frasco una mezcla de los alcoholes metílico usando una jeringuilla, según lo descrito por PROMECAFE (2007). Se evaluaron dos difusores semio-químicos preparados, el primero con tres partes de alcohol metílico + una parte de alcohol etílico + café tostado y molido (60 g y 100 g); el segundo difusor comprendió una mezcla de aguardiente + café tostado y molido (60 g y 100 g). Cada 15 días se revisaron las trampas durante la época de desarrollo y maduración de los frutos, e inclusive después de la cosecha; realizando un conteo de las brocas adultas capturadas en las mismas; después de cada evaluación se reemplazaron tanto el agua como los difusores.

Para la elaboración de extractos vegetales se recolectaron hojas y frutos de *Azadirachta indica* (*A. indica*) y hojas, tallos y raíz de *Petiveria alliacea*. Luego de la recolección se secaron a la sombra durante una semana, para después moler y triturar las semillas y hojas de *A. indica* finamente, macerándolo un período de 48 horas, y finalmente colar. El procedimiento para la elaboración del extracto de *Petiveria alliacea* es similar, pero se adiciona tallo y raíz. Los extractos se elaboran a partir de la evaporación de un extracto fluido por el método de percolación. Las condiciones experimentales para la obtención de los extractos blandos fueron las propuestas por Ochoa, Marín y Rivero (2013).

«La mayoría de las ninfas tratadas con el extracto murieron durante sucesivos estados de crecimientos, y las pocas que sobrevivieron hasta forma adulta tenían alas y tórax malformados» según Hidalgo (2001) en Escobar (2018, p. 22)

Los experimentos se condujeron bajo un diseño de bloques completamente al azar. El ensayo de control etológico estuvo conformado por cuatro tratamientos y tres repeticiones en cada localidad. En cada unidad experimental (UE) se dispusieron cuatro trampas por tratamiento (difusor); es decir, 20 trampas/UE a una distancia aproximada de 20 m x 20 m. Se realizó un análisis de varianza mediante la prueba de Tukey al $p < 0.05$, realizando la transformación de los datos al valor logarítmico $\log X+25$ para su normalización, toda vez que los datos originales no siguen una distribución normal.

En ensayo de control de *H. hampei* F. con extractos de *Petiveria alliacea* y *Azadirachta indica* se conformaron 10 tratamientos y tres repeticiones, con tres dosis (50 ml/l, 100 ml/l y 150 ml/l) y frecuencias de aplicación (cada 6, 10 y 14 días). Las unidades experimentales estuvieron conformadas por 45 cafetos, su área útil por cinco plantas, las aplicaciones se realizaron en horas de la mañana utilizando bomba de mochila.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de infestación de broca

El porcentaje de infestación disminuye una vez que se instalan las trampas artesanales, situación evidenciada durante los años 2017 y 2018 a través de la evaluación del proyecto. Según la prueba de Tukey $p < 0.05\%$, se registraron diferencias altamente significativas, tanto para localidades p -valor: 0.0215 (año 1), p -valor: 0.0109 (año 2), como para tratamientos p -valor: 0.0292 (año 1) p -valor: 0.0041 (año 2). En la *tabla 2* se presenta el análisis de ADEVA correspondiente.

Tabla 2. ADEVA infestación de broca antes y después de instalación de trampas.

F.V.	SC	Año 1				Año 2			
		gl	CM	F	P-valor	SC	CM	F	P-valor
Modelo	100.15	3	33.38	41.25	0.0238	29.4	9.8	141.48	0.007
Localidades	73.64	2	36.82	45.50	0.0215*	12.6	6.3	90.94	0.0109*
Tratamiento	26.50	1	26.50	32.75	0.0292*	16.8	16.8	242.54	0.0041*
Error	1.62	2	0.81			0.14	0.07		
Total	101.76	5				29.54			
CV %	15.20					5.86			

Nota: FV: fuente de variación; SC: suma de cuadrado; gl: grados de libertad; CM: cuadrado medio; F: frecuencia calculada; P-Valor: frecuencia tabulada; CV: coeficiente de variación; Cuando el CV 0-10: es altamente representativo; 10.1-20: muy representativo; 20.1-30: representativo; 30.1-40: poco representativo; >40 carece de representatividad. **Fuente:** Elaboración propia.

Efecto de los difusores en relación al número de brocas capturadas/trampa

En la *tabla 3* se presenta el análisis de varianza mediante la prueba de Tukey sobre el número de individuos adultos de *H. hampei* F., capturado/trampa, lo cual permitió establecer que existen estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos; sin embargo, el mismo análisis no registra diferencia estadística entre las localidades al $p > 0.05$. La respuesta olfativa de *H. hampei* F. a sustancias volátiles provenientes del fruto es evidenciada por la parada del insecto al interceptar el flujo de olor, girando y caminando en dirección a la fuente emisora del mimo (Mendoza, 1991).

Tabla 3. ADEVA *H. hampei* F. capturadas por período de evaluación (junio septiembre 2017/2018)

F.V.	SC	Año 1				Año 2			
		gl	CM	F	P-valor	SC	CM	F	P-valor
Modelo	0.44	5	0.09	4.25	0.0534	0.75	0.15	4.21	0.0545
Localidades	0.02	2	0.01	0.40	0.6866	0.06	0.03	0.89	0.4583
Tratamiento	0.42	3	0.14	6.82	0.0232*	0.68	0.23	6.43	0.0265*
Error	0.12	6	0.02			0.21	0.4		
Total	0.56	11				0.96			
CV %	8.91					10.43			

Nota: FV: fuente de variación; SC: suma de cuadrado; gl: grados de libertad; CM: cuadrado medio; F: frecuencia calculada; P-Valor: frecuencia tabulada; CV: coeficiente de variación; Cuando el CV 0-10: es altamente representativo; 10.1-20: muy representativo; 20.1-30: representativo; 30.1-40: poco representativo; >40 carece de representatividad. Valores originales transformados a $\log X + 25$. NS = No existen diferencias estadísticamente significativas ($P > 0.05$). * = Existen diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

Según la prueba de Tukey $p > 0.05\%$ el tratamiento 1 (3M1E+Cf-100), que consiste en tres partes de alcohol metílico + 1 de alcohol etílico + frasco de 100 ml, en los dos periodos evaluados, resultaron ser los más eficientes en la captura del *H. hampei* F.; sin embargo, todos los tratamientos capturaron individuos de esta importante plaga (tabla 4), lo que coincide con la evaluación de atrayentes para la captura de hembras adultas de broca del café con trampas artesanales, realizada en Cuba por Moreno *et al.* (2010); ello establece que la mezcla de metanol + etanol (3:1) resulta la más efectiva, en contraste con el alcohol etílico solo y el alcohol etílico mezclado con café tostado molido, que capturaron menor número de adultos.

La presente investigación coincide además con un estudio realizado por García *et al.* (2005), en Venezuela, donde evaluaron alternativas de atrayentes de la broca del café y determinaron que los alcoholes combinados etanol + metanol (proporción 3:1) mostraron mayor eficiencia como atrayentes para captura de broca del café en las trampas artesanales.

Tabla 4. Análisis ADEVA *H. hampei* F. capturadas por tratamiento durante 2017 y 2018.

Tratamientos	Año 1			Año 2		
	Medias	n	EE	Medias	n	EE
1 3M1E+Cf-100	1.93	3	0.08 ^a	2.21	3	0.11 ^a
2 3M1E+Cf-200	1.55	3	0.081 ^{ab}	1.72	3	0.11 ^{ab}
3 0.5% Agua ardiente+Cf-100	1.48	3	0.08 ^b	1.67	3	0.11 ^b
4 0.5% Agua ardiente+Cf-200	1.48	3	0.08 ^b	1.62	3	0.11 ^b

Nota: 3M1E+Cf-100: 3 partes de alcohol metílico + 1 de alcohol etílico + frasco de 100; 3M1E+Cf-200: Valores originales transformados a $\log X + 25$. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). **Fuente:** Elaboración propia.

Efecto del extracto de *Azadirachta indica* y *Petiveria alliacea* en relación al número de brocas capturadas/en frutos de *Coffea arabica*.

En la tabla 5 se presenta el análisis de varianza mediante la prueba de Tukey sobre estadios de *H. hampei* F.: Adulto muerta, larva muerta y número de huevos de *H. hampei* F. Ello demuestra que existen estadísticas altamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos; el mejor tratamiento es cuando se aplica una dosis de 50 ml/l de agua a una frecuencia de aplicación de cada seis días.

Tabla 5. Análisis de varianza del efecto de extractos de *Azadirachta indica* y *Petiveria alliacea* sobre los estadios de *Hypothenemus hampei* en frutos de café.

F.V.	gl	<i>H. hampei</i> muerta		<i>H. hampei</i> larva muerta		<i>H. hampei</i> número de huevos	
		F	P-valor	F	P-valor	F	P-valor
Modelo	11	8.03	0.0001	6.09	0.0004	3.47	0.0095
Localidades	2	2.68	0.0961	1.81	0.1917	0.0045	0.9956
Tratamiento	9	9.22	<0.0001*	7.03	0.0002*	4.24	0.0044*
Error	18						
Total	29						
CV %	1.13	1.40		1.13		0.81	

Nota: Tratamientos 50 ml/l; 100 ml/l y 150 ml/l; Frecuencia de aplicación 6; 10 y 14 días; Valores originales transformados a $\log X + 25$; Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

En estudios realizados en la zona del Pangui en el 2002, con el uso de insecticidas formulados de las semillas de *A. indica* (INBIO 75) en dosis de 1 y 2 litros/ha, se tuvo un leve efecto en la reducción de la broca del fruto de café, expresándose en una eficiencia del 3.94 y 4.25%, respectivamente (Duicela *et al.*, 2003).

El empleo de *Petiveria alliacea* y *A. indica* como extracto para combatir larvas de *Spodoptera sunia* en tomate orgánico obtuvieron los siguientes resultados: El extracto de *Azadirachta indica* con 38.88 seguido por el de *P. auritum*, con 28.8 y *P. alliacea* con 21.22% de larvas muertas (Valarezo *et al.*, 2008).

CONCLUSIONES

La aplicación de tecnologías limpias como el control etológico y el uso de extractos vegetales tiene un efecto positivo en el control de *H. hampei* F. en el cultivo de *Coffea arabica*.

A partir del uso de trampas artesanales para el control de *Hypothenemus hampei* F., baja el porcentaje de infestación en las parcelas evaluadas de forma sencilla, lo que permitiría reemplazar el control químico de esta plaga mediante una práctica amigable al Medio ambiente y de fácil adopción por parte del productor cafetalero. Además, la captura de los individuos adultos de *Hypothenemus hampei* F., se extiende incluso luego de la cosecha, capturando las brocas que emergen de los frutos caídos en el suelo o de los frutos remanentes en los cafetos.

El uso del extracto de *P. alliacea* y *A. indica*, en las dosis y frecuencias evaluadas tuvo un control eficiente en todos los estadios de desarrollo del *H. hampei* F., determinándose que el mejor efecto se presentó usando la dosis de 50 ml/l de agua, aplicado a una frecuencia de seis días.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acacio, G. y Gil, J. (2013). Efecto del color de trampa en la captura de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferr.) en tres localidades de Tingo María. *Investigación y Amazonía* 2012, 2(1-2), 27-34. <http://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/view/99>
- Puerto, A., Suárez, S. y Palacio, D. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 372-387. <https://cutt.ly/UyS3EYE>
- Duicela, L. (2011). *Manejo sostenible de las fincas cafetaleras. Buenas prácticas en la producción de café arábigo y gestión de la calidad en las organizaciones de productores. Fondo Común para los productos básicos y Consejo Cafetalero Nacional.*
- Duicela, L., Castillo, C., Cedeño, L., Chóez, F., Romero, F., Palma, R., Fernández, A., Macías, A., Farfán, D., Ramírez, J., Zambrano, L., Reyes, J., Farfán, D. y Aveiga, T. (2003). *Tecnologías para la producción de café arábigo orgánico. Consejo Cafetalero Nacional, Manabí, Ecuador.*
- García, R., Riera, R., Rondón, J., Contreras, M., Moncada, N. y Rojas, E. (2005). *Evaluación de alternativas como atrayentes alcohólicos de la broca del café Hypothenemus hampei dispuestos en trampas artesanales en Mesa Las Palmas del Estado Mérida [en línea].* Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Venezuela. <https://cutt.ly/3yS3Yo3>
- Escobar, C.N.(2018). Manejo Orgánico de Plagas en Frijol Ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) con Neem (*Hypothenemus hampei*, A. Juss) [Tesis de grado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. <https://n9.cl/ghw5g>

- Fernández, S. y Cordero, J. (2007). *Biología da broca do café Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleóptera: Curculionidae: Scolytinae) em condições de laboratório. *Biagro*, 19(1), 35-40. <https://n9.cl/ne05>
- Mendoza, J.R. (1991). *Resposta da broca-do-café, Hypothenemus hampei, a estímulos visuais e semioquímicos* [Tesis de Maestría, Universidade Federal de Viçosa]. <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/135939/000858012.pdf?sequence=1>
- Moreno, D., Álvarez, A., Vázquez, L. y Simonetti, J. (2010). *Evaluación de atrayentes para la captura de hembras adultas de broca del café Hypothenemus hampei (ferrari) con trampas artesanales*. *Fitosanidad*, 14(3), 177-180. <https://cutt.ly/uyAnOcv>
- Ochoa, A., Marín, J. y Rivero, D. (2013). *Caracterización física y química de extractos totales de *Petiveria alliacea* l. con acción antimicrobiana*. *Revista mexicana de ciencias farmacéuticas*, 44(1), 52-59. <https://cutt.ly/eyAn0Tf>
- Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura en Centroamérica, Panamá, República Dominicana y Jamaica. (2007). *Manejo Integrado de la broca del café diseñado con tres componentes*. <https://cutt.ly/tyS3WEP>
- Quemé, J.P. (2013). *Control etológico de la broca (*Hypothenemus hampei*; Scolytinae) del café, *Colomba Costa Cuca, Quetzaltenango 2010-2011** [Tesis de Licenciatura, Universidad Rafael Landívar]. <http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2013/06/04/Queme-Juan.pdf>
- Ramos, R. (mayo de 2001). *Aceite de neem un insecticida ecológico*. <https://cutt.ly/byS3YNs>
- Solórzano, J. (2004). *Color, tipo de trampas y tipos de señuelo para la captura de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) Ferrari (Coleoptera: Curculionidae: Scolitynae) en Costa Rica* [Tesis de Maestría, Instituto de Fitosanidad]. <https://n9.cl/zpck>
- Tandazo, A., Cisneros, P., Jaramillo, T. y Espinoza, O. (1997). *Control integrado de la broca del café en la región sur del país*. Ministerio de Agricultura y Ganadería y Programa de apoyo alimentario, pp. 144.
- Valarezo, C.O., Cañarte, B.E. y Navarrete, C.B. (2008). El A. indica insecticida botánico para el manejo de plagas agrícolas (en línea). *Boletín divulgativo no. 336*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1164>

GESTIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Arbolado urbano. Estudio de caso: Reparto Hermanos Cruz, Pinar del Río, Cuba.

Urban Woodland. Case study: County Hermanos Cruz, Pinar del Río, Cuba.

Marta Margarita Bonilla Vichot¹, Elizabeth Crespo Paredes y Darien Felipe Medina Bonilla

¹Universidad de Pinar del Río, Cuba
mbon@upr.edu.cu

Recibido: 17/06/2019

Aceptado: 20/11/2019

Publicado: 27/12/2019

RESUMEN

La calidad de vida de los pobladores de una zona urbana depende, en gran medida, del estado y la abundancia de espacios verdes existentes en ella o en sus proximidades. La investigación que se presenta recoge el estudio realizado en las áreas verdes del reparto Hermanos Cruz, municipio Pinar del Río, con el objetivo de caracterizar el arbolado urbano a partir de la composición, diversidad y percepción de los pobladores sobre sus funciones. Se procedió a seleccionar 11 áreas. A partir de la Norma Cubana de Áreas verdes (NC 677-1:2009), se clasificaron las mismas por su ubicación y función; se inventariaron las correspondientes a parques e instalaciones públicas, así como el arbolado viario. En este sentido, se identificaron: árboles de riesgo; principales conflictos; índice de riquezas; frecuencia relativa; y abundancia relativa; y se aplicaron encuestas a los pobladores para conocer su percepción sobre el arbolado urbano. Como resultados del estudio se obtuvo que, en la distribución de las especies por hábitos de crecimiento, se observa un predominio de los árboles, destacándose las familias *Bignoniaceae*, *Malvaceae*, *Meliaceae*, *Caesalpinaceae*, *Annonaceae* y *Arecaceae* como las más representadas. Con respecto al origen predominan las especies introducidas tanto para los árboles como para los arbustos. La riqueza de especies presenta una variación entre las diferentes áreas. Las personas consideran necesaria la presencia de los árboles en las ciudades y demuestran conocimientos acerca del arbolado en su entorno ciudadano, en cuanto a sus funciones y beneficios. Se realizan propuestas para incrementar las especies autóctonas.

PALABRAS CLAVE: árboles de riesgo, áreas verdes, diversidad, riqueza de especies.

ABSTRACT

The quality of life of the inhabitants of an urban area depends, to a large extent, on the state and the abundance of green spaces existing in it or in its vicinity. The research presented includes the study carried out in the green areas of the cast Hermanos Cruz, municipality Pinar del Río, with the aim of characterizing the urban trees based on the composition, diversity and perception of the inhabitants about their functions. 11 areas were selected. From the Cuban Standard of Green Areas (NC 677-1: 2009), they were classified according to their location and function; those corresponding to parks and public facilities were inventoried, as well as the tree-lined road. In this regard, the following were identified: risk trees; main conflicts; wealth index; relative frequency; and relative abundance; and surveys were applied to the settlers to know their perception of urban trees. As results of the study it was obtained that, in the distribution of the species by growth habits, a predominance of the trees is observed, highlighting the families *Bignoniaceae*, *Malvaceae*, *Meliaceae*, *Caesalpinaceae*, *Annonaceae* and *Arecaceae* as the most represented. Regarding the origin, the species introduced for both trees and shrubs predominate. Species richness presents a variation between the different

areas. People consider the presence of trees in cities necessary and demonstrate knowledge about woodland in their city environment, in terms of their functions and benefits. Proposals are made to increase native species.

KEYWORDS: diversity, green areas, risk trees, species richness.

INTRODUCCIÓN

El uso de la vegetación dentro de las ciudades se ha distinguido por responder a necesidades relacionadas con las características climáticas, socioculturales y económicas de las diferentes zonas del planeta. Estas prácticas, muy asociadas a la calidad ambiental y de vida, han cobrado gran importancia en los últimos años debido, sobre todo, al reconocimiento de los múltiples valores de las plantas, que preservados y mejorados constituyen una nueva manera de enfocar el urbanismo (Castillo y Ferro, 2015).

Coyula (1985), citado por Castillo y Ferro (2015) expresa que dentro de las formas en que aparecen las áreas verdes en la ciudad, el arbolado viario constituye la más significativa, debido a la directa relación que establece el árbol con el espacio de las calles y la población en general. Se suman a los verdes urbanos las áreas que se encuentran en instituciones, edificios públicos, parques, etc.

Diferentes autores como Castillo y Ferro (2015), Chang (2015), Pérez (2014), Sosa-López *et. al* (2011) y Álvarez de Zayas (2008), destacan las características de las especies más frecuentes, abundancia, composición del arbolado en diferentes ciudades del país, e incluyen además, el origen y valoraciones económicas a partir de sus funciones, entre otros aspectos, que permiten trazar pautas para estructurar de forma armónica la funcionabilidad y la belleza del arbolado en las ciudades.

El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar el arbolado urbano a partir de la composición, diversidad y percepción de los pobladores sobre sus funciones; con la intención de evaluar el comportamiento de dichas variables en el reparto Hermanos Cruz, para establecer acciones futuras que permitieran incrementar la educación ambiental y el conocimiento de la importancia del arbolado urbano, en virtud de favorecer su protección y la incorporación de especies autóctonas en los diferentes espacios verdes, bajo el precepto de la silvicultura urbana: *El árbol adecuado en el lugar adecuado*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio pertenece al municipio Pinar del Río, consejo popular Hermanos Cruz, y se encuentra situada al Noreste de la ciudad de Pinar del Río; limita al Noroeste con el consejo popular 10 de octubre, al Sur con el reparto Carlos Manuel y al Este con Las Ovas.

Como aspectos climáticos se destacan la presencia de un periodo poco lluvioso con dos momentos bien definidos (noviembre y de enero – abril) y un periodo muy lluvioso (mayo - octubre). El total anual de precipitaciones es de 1 554.5 mm y la temperatura media anual es de 24.2°C; la máxima absoluta es de 36.3°C y la mínima absoluta es de 5.1°C.

Para el desarrollo del trabajo se efectuó un recorrido por el reparto Hermanos Cruz, y se ubicaron un total de 11 áreas, consideradas cada una como parcelas de muestreo.

Atendiendo a la *NC 53-05:78 Áreas verdes* (Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente [CITMA], 1978), se clasificaron estas para el muestreo en los *verdes de uso común*, incorporados a los espacios públicos de uso general por parte de la población; y los verdes de uso local limitado,

vinculados a determinados conjuntos de edificios y espacios, la protección de suelos, el control climático, la protección ambiental, la producción de alimentos y la defensa del país.

Se procedió a hacer un inventario del arbolado viario y áreas verdes correspondientes a parques e instalaciones públicas, donde se identificaron las plantas presentes en ellas teniendo en cuenta:

- Cantidad de individuos; nombre científico; nombre vulgar y familias botánicas representativas.
- Clasificación de los árboles de acuerdo a su origen geográfico (endémicas, autóctonas, o introducidas).

Para su identificación se utilizaron los criterios de Sablón (1987), Bisse (1988) y Acevedo- Rodríguez y Strong (2012).

Atendiendo a la norma ramal *NC 93-06-101:87* (CITMA, 1987), se clasificaron por sus hábitos de crecimiento a las especies en; Árboles, arbustos, estipitadas y herbáceas. Además, se clasificaron los diferentes tipos de plantaciones: bosquecillo, rodal, setos, setos podados y canteros, conformadas por la presencia de árboles o arbustos en las áreas evaluadas. Se determinaron los parámetros ecológicos a partir de los elementos estructurales: Abundancia relativa y frecuencia relativa en las distintas áreas.

Se determinó la *frecuencia relativa* y *abundancia relativa* de las principales especies presentes en las diferentes zonas, según las siguientes ecuaciones:

$$Ar = \frac{\text{Número de árboles por especie}}{\text{Número de árboles totales}} \times 100$$

$$Fr = \frac{\text{Frecuencia absoluta de una especie}}{\text{Total de frecuencia absoluta}} \times 100$$

Se estableció el *índice de riqueza* para los árboles presentes en las áreas verdes, el cual representa el número total de especies en una comunidad.

Se utilizó la metodología de Iguñiz (2007) para evaluar los posibles riesgos que presentaban los árboles a partir del estado fitosanitario de las ramas, fuste y raíces, con la utilización del método de evaluación visual del árbol (EVA) y se clasificó además, el estado general los mismos: enfermo, moribundo y muerto.

De igual forma, se evaluó la estructura y estado del árbol a partir de daños biomecánicos, con énfasis en los siguientes aspectos: presencia de plagas; daños abióticos; pudrición en raíces, fustes y ramas; presencia de heridas; brotes de raíz; cavidades en troncos y ramas; tronco tortuoso; necrosis y exudaciones. Otros aspectos evaluados fueron: daños en las raíces generados por obras de infraestructura; presencia de grietas y rajaduras en el tronco; inclinación del tronco por la cercanía de las edificaciones o vías peatonales y vehiculares.

La identificación de los principales conflictos generados por el arbolado urbano se realizó mediante la inspección visual del área objeto de estudio, donde se evaluaron aquellas situaciones que de manera directa o indirecta inciden negativamente el desarrollo habitual de la planta, o entran en conflicto con él.

Para el cumplimiento de unos de los objetivos específicos del presente trabajo se elaboró una encuesta como técnica de adquisición de información. Mediante la misma se pudo conocer la percepción de los miembros de la comunidad acerca del arbolado urbano. Para determinar el tamaño de la muestra se aplicó la siguiente expresión matemática, propuesta por Calero (1978):

$$n = \frac{\left(\frac{Z_{1-\alpha/2}}{d}\right)^2 * P - (1 - P)}{1 + \frac{1}{N} * \left(\frac{Z_{1-\alpha/2}}{d}\right)^2 * P(1 - P) - \frac{1}{N}}$$

En este sentido, se aplicó la encuesta a 70 visitantes de los parques y espacios públicos, lo cual incluye estudiantes de la Escuela Secundaria Básica Urbana Carlos Ulloa, todos comprendidos dentro del área de estudio. La población seleccionada es heterogénea en su composición, pues deben existir muchas posibilidades y alternativas para apreciar todas las respuestas posibles con respecto al tema. Teniendo en cuenta el rango de edades de los entrevistados, se establecieron cuatro intervalos para facilitar el procesamiento, a criterio de los autores: 10 - 17 años, 18 - 25 años, 26 - 35 años y 36 años o más. Los resultados se procesaron aplicando un análisis de calidad *Pareto*, apilado con el paquete estadístico *Statistical Package for Social Science (SPSS)* versión 15.0.1 2006 sobre Windows. Además, se empleó el tabulador de texto Microsoft Office Excel 2007 para realizar la base de datos de las entrevistas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del inventario realizado en las áreas de estudio se determinaron un total de 94 especies distribuidas en 48 familias y 86 géneros.

En la figura 1 se destaca la distribución de las especies por hábitos de crecimiento. Predominan los árboles, especialmente las especies *Delonix regia* (Bojer. ex Hook.) Raf. En cuanto a los árboles estipitados solo representan el 5% del total de individuos, destacándose las especies *Roystonea regia* (H. B. K.) O. F. Cook y *Cocos nucifera* L. Entre las familias más representadas se encuentran: *Bignoniaceae*, *Malvaceae*, *Meliaceae*, *Caesalpinaceae*, *Annonaceae* y *Arecaceae*.

Figura 1. Hábitos de crecimiento de las especies.

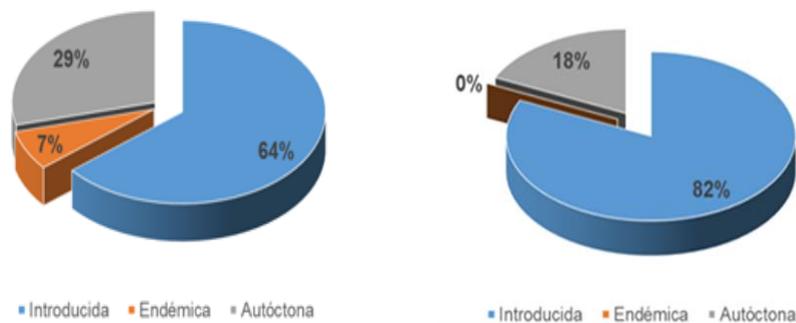


Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al origen geográfico (figura 2a-2b), predominan las especies introducidas tanto para los árboles como para los arbustos. Estos resultados son similares de los obtenidos por Sosa-López *et al.* (2011) de un diagnóstico de la situación del arbolado urbano en la ciudad de Guisa. Del total de

especies, el 63% para la ciudad de Guisa y el 64% para el consejo popular Hermanos Cruz, introducidas de diversos sitios del mundo. De forma general, esta problemática está presente en las diferentes ciudades del país por la fácil obtención y crecimiento de esas especies. Ello se debe a que los programas de arborización urbana que han tenido lugar en la ciudad, no han contemplado una mayor presencia de especies nativas de la región con amplias posibilidades para la ornamentación de espacios urbanos Sosa-López *et al.* (2011).

Figura 2a. Origen de las especies (árbol). **Figura 2b.** Origen de las especies arbustivas.



Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al número de individuos por especies, se puede apreciar que resultan más numerosas las especies *Veitchia merrillii* (Becc.) H. E. Moore, *Delonix regia*, *Eucalyptus sp.* *Caryota urens* L., *Taliparitis elatum* Sw. y *Pinus caribaea* Morelet, de las cuales solo las dos últimas son autóctonas.

El arbolado del reparto Hermanos Cruz cuenta en su composición con 39% de árboles, 24% de arbustos, 8% de árboles estipitados, y solo un 1% de epifitas y enredaderas; esta composición no varía en función de la clasificación de las áreas verdes (figura 3).

Figura 3. Áreas verdes del reparto Hermanos Cruz.



Fuente: Elaboración propia.

En los distintos espacios verdes presentes en la zona evaluada se observó una similitud determinada por la presencia de las mismas especies entre las 11 áreas; lo cual varió solamente en el número e indica que hay un grupo de plantas que, por lo explicado anteriormente, son las que más se utilizan. Estos resultados difieren de los obtenidos por Pérez (2014) al comparar las áreas verdes de los diferentes consejos populares.

El número de especie oscila de 5 a 23 en las diferentes áreas. El de menor diversidad es el Centro comercial con cinco y el de mayor abundancia la calle Los Pinos con 23, donde se observa una gran variedad de plantas arbóreas en los jardines.

En la *tabla 1* se muestra el comportamiento de las especies de mayor frecuencia y abundancia relativa, correspondientes a las áreas inventariadas; las especies que se registran con mayor frecuencia son: *Delonix regia* (Bojer. ex Hook.) Raf, *Chrysalidocarpus lutescens* W. Wendl y *Veitchia merrillii* (Becc.) H. E. Moore.

Tabla 1. Frecuencia relativa y la abundancia relativa de las especies más frecuentes.

Nombre científico	Fr (%)	Ar (%)
<i>Brassaia actinophylla</i> F.Müll	36.36	2.93
<i>Cedrela odorata</i> L.	36.36	2.34
<i>Moringa oleífera</i> Lam.	36.36	2.15
<i>Pinus caribaea</i> Morelet	36.36	5.13
<i>Psidium guajava</i> L.	45.45	2.34
<i>Taliparitis elatum</i> Sw.	45.45	5.47
<i>Chrysalidocarpus lutescens</i> W.Wendl	54.54	6.26
<i>Veitchia merrillii</i> (Becc.) H. E. Moore	72.73	19.37
<i>Delonix regia</i> (Bojer. ex Hook.) Raf	81.81	7.24

Fuente: Elaboración propia.

Sobre la determinación de los árboles de riesgo, durante el recorrido por las distintas áreas de estudio, se observó que algunos exponentes presentan alteraciones en sus características morfológicas como pudrición de fustes y ramas, brotes de raíces, troncos torcidos y con cavidades. Se pudo apreciar que la cercanía de los árboles a la instalación escolar ha provocado afectaciones en su crecimiento, al no disponer estos del espacio suficiente para su desarrollo y no seleccionarse adecuadamente la especie en el momento de la plantación, lo cual puede provocar la caída de los mismos por la ocurrencia de vientos fuertes.

Se han presentado situaciones de peligro que son habituales y recurrentes en los distintos ambientes urbanos como, por ejemplo, la afectación del pavimento en parques cercanos a edificios, debido a la inadecuada selección de plantas, principalmente en las vías de circulación.

En dichas áreas, tanto viales y peatonales, se pudo apreciar la interferencia de las ramas de los árboles con el tendido eléctrico, lo cual puede ocasionar accidentes en caso de vientos fuertes o huracanes. Esta problemática se debe a que el personal especializado para la poda y desmoches «autorizados» de las entidades de servicios públicos, no se ha interesado por darle una solución a ello y, en ocasiones, no se realizan esa actividad con la calidad técnica requerida.

Resultados de las encuestas

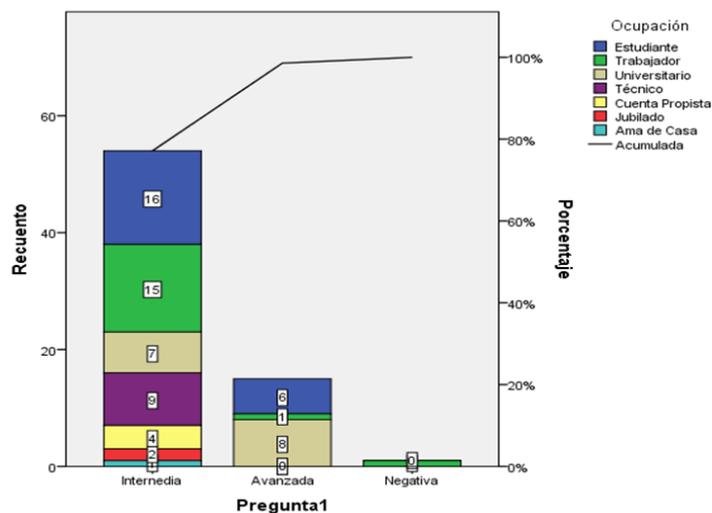
Del total de los encuestados, 43 corresponden al sexo masculino, en tanto que al femenino 27. Otra variable estudiada fue la ocupación con 22 estudiantes, 17 trabajadores (15 de ellos con nivel universitario), nueve técnicos, cuatro cuentapropistas, dos jubilados y una ama de casa. El comportamiento fue el siguiente:

- *Pregunta 1. ¿Considera necesaria la presencia de los árboles en las ciudades? ¿Por qué?*

Con la interrogante se evalúa el nivel de conocimientos de la población al clasificarse sus argumentos en respuesta avanzada, intermedia o negativa (figura 4). A pesar de que la mayoría de los estudiantes dieron respuestas intermedias y la minoría respuestas avanzadas, en su conjunto han demostrado estar orientados con respecto a la función y los beneficios del arbolado; y consideran necesaria la existencia de especies arbóreas en su entorno ciudadano. Ello se debe no solo a que las asignaturas impartidas están relacionadas con estos temas, a lo que sino también a las charlas educativas y debates sobre el medio ambiente.

Para el caso de los universitarios hubo coincidencia en las respuestas de ambas clasificaciones, apreciándose que conocen del tema y lo consideran importante. Los técnicos, trabajadores, cuentapropistas, jubilados y amas de casa, en su totalidad, ofrecieron respuestas intermedias, en correspondencia con la información que le proporcionan los medios de difusión masiva, y expresaron que los árboles son «los pulmones de la ciudad».

Figura 4. Resultados de la pregunta 1 en función de las ocupaciones.



Fuente: Elaboración propia.

- *Pregunta 2. ¿Cómo considera el número de árboles en su comunidad?*

Con respecto a la edad el 20% consideran abundante el número de especies, en tanto que el 50% y el 30% la clasifican como regular y escasa respectivamente en su entorno ciudadano. Esto demuestra que no existe una adecuada cantidad de árboles en los espacios verdes, problemática que pudiera ser ocasionada por diversas razones, tales como la falta de coordinación y adecuada jerarquización de las tareas y responsabilidades entre los encargados de los verdes urbanos, o la inadecuada gestión y escasez de especies en los viveros. Esos resultados difieren de los reportados por Perdomo (2015) en un estudio realizado en San Nicolás, municipio de la provincia Mayabeque, el cual expresa que los

jóvenes no perciben la necesidad de los árboles para la salud de los pobladores y el embellecimiento de la localidad.

- *Pregunta 3. ¿Dónde le gustaría que hubiera presencia de arbolado?*

Los encuestados podían optar por más de una respuesta. Los hombres han preferido la presencia de arbolado principalmente en los parques, jardines y calles, mientras que las mujeres optan por la existencia de árboles en los parques y jardines solamente.

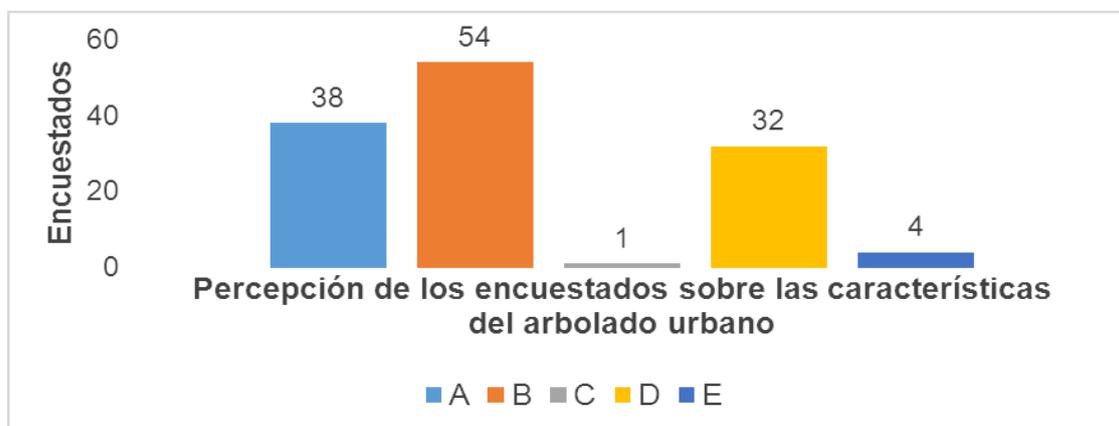
- *Pregunta 4. ¿Qué especies de árboles le gustaría encontrar en su entorno?*

Un número predominante de encuestados prefieren árboles frondosos que proyectan buena sombra. Las especies más repetidas son: *Taliparitis elatum*, *Pinus caribaea*, *Cedrela odorata L.*, *Terminalia catappa L.*, *Swtienia macrophylla King.*, *Mangifera indica L.*, *Delonix regia* y *Tabebuia angustata L.* Un total de 23 encuestados no respondieron por desconocimiento de las especies.

- *Pregunta 5. ¿Qué utilidad le atribuye al arbolado urbano?*

En esta interrogante se abrevaron varios puntos de vistas, pero en su generalidad la mayoría de los encuestados coinciden en que el arbolado es una parte del paisaje que hace más atractiva a la ciudad, a la vez que consideran que es una parte esencial de la infraestructura de la misma (*figura 5*).

Figura 5. *Percepción de los encuestados sobre las características del arbolado urbano.*



Nota: **A.** *Es una parte esencial de la infraestructura de la ciudad.* **B.** *Una parte del paisaje que hace a la ciudad más atractiva.* **C.** *Algo innecesario que solo estorba.* **D.** *Algo útil si se le da el cuidado necesario.* **E.** *No sabe.* **Fuente:** *Elaboración propia.*

CONCLUSIONES

En las áreas verdes del reparto Hermanos Cruz predominan las especies exóticas en los diferentes estratos y se hace necesario incrementar la presencia de especies autóctonas.

La no adecuada selección de las especies lleva a la presencia de árboles de riesgo, por lo que se requiere de la aplicación de podas o talas, según el nivel de afectación.

Los encuestados consideran necesaria la presencia de árboles en las ciudades y demuestran conocimientos acerca del arbolado en su entorno ciudadano, en cuanto a sus funciones y beneficios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, P. y Strong, M.T. (2012). Catalogue of Seed Plants of the West Indies. *Smithsonian contributions to botany*, (98). Smithsonian Institution Scholarly Press <https://doi.org/10.5479/si.0081024X.98.1>
- Álvarez de Zayas, A. (2008). Plantas ornamentales en Cuba: usos, diversidad y amenazas. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, (29), 83-100. <https://www.jstor.org/stable/42597271?seq=1>
- Bisse, J. (1988). *Árboles de Cuba*. Editorial Científico -Técnica.
- Chang, J.A. (14 al 17 de abril 2015). *Diagnóstico espacial de la cobertura de copas del arbolado público en la ciudad de Palma Soriano* [Ponencia]. Convención Internacional Agroforestal 2015. La Habana, Cuba.
- Calero, A. (1978). *Técnica de muestreo*. Editorial Pueblo y Educación.
- Castillo, L. y Ferro, S.A. (2015). La problemática del diseño con árboles en vías urbanas: “verde con pespuntes negros”. *Arquitectura y Urbanismo*, 36(1), 5-24. <https://n9.cl/tn41>
- Iguñiz, G. (2007). *Apuntes de Gestión de la estructura del arbolado urbano* [Archivo PDF]. <https://www.jardin-natural.com/wp-content/uploads/2017/12/gestdelaestructura2.pdf>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (1978). *Áreas verdes (NC 53-05:78)*. La Habana, Cuba.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (1987). *Áreas verdes urbanas. Términos y definiciones (NC 93-06-101:87)*. La Habana, Cuba.
- Pérez, M. (2014). *Evaluación de las condiciones ambientales de los espacios públicos de Pinar del Río* [Tesis de maestría no publicada]. Universidad de Pinar del Río.
- Perdomo, D. (2015). El arbolado urbano en San Nicolás: Una visión desde la gestión del conocimiento. [Ponencia]. Convención Internacional Agroforestal 2015. La Habana, Cuba
- Sablón, A.M. (1987). *Dendrología*. Editorial Científico Técnica.
- Sosa-López, A., Molina- Pelegrín, Y., Puig-Pérez, A. y Riquenes-Valdés, A. (2011). Diagnóstico de la situación del arbolado urbano en la ciudad de Guisa. *Revista Forestal Baracoa*, 30(1), 73-78.

GESTIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Estimación del efecto marginal de la vegetación urbana en la remoción de PM2.5 en Medellín, Colombia.

Estimation of the marginal effect of urban vegetation on the removal of PM2.5 in Medellín, Colombia.

Daniela Velásquez Ciro¹, Julio Eduardo Cañón Barriga e Isabel Cristina Hoyos Rincón
¹Universidad de Antioquia, Colombia
daniela.velasquezc@udea.edu.co

Recibido: 17/06/2019
Aceptado: 20/11/2019
Publicado: 27/12/2019

RESUMEN

En la actualidad, la ciudad de Medellín, en Colombia, tiene un problema crónico de calidad de aire. Una alternativa para reducir los efectos de esa contaminación es aumentar las áreas arborizadas. En este trabajo se estimó el efecto marginal que tendría el aumento de la cobertura arbórea urbana en la remoción de PM2.5. En este sentido, el mismo hace uso de la metodología UFORE para calcular la remoción de este contaminante en forma distribuida sobre la ciudad, utilizando imágenes satelitales Sentinel 2A para identificar las coberturas y estimar el Índice de Área Foliar (IAF), que es un insumo importante para los cálculos. Se tomaron como base los registros de estaciones en el año 2017. Al calcular la remoción del PM2.5 para la condición base, se encontró un valor cercano a 83 t para toda el área metropolitana y de 3 t para Medellín. Cuando se aumenta el área total arborizada en un 1% de manera proporcional en toda la ciudad, el valor de la remoción aumenta en 1%. Por otro lado, al localizar la arborización en las zonas de mayor concentración del contaminante, la remoción total tiene un aumento cercano al 1.6%, lo que implicaría que la decisión de arborización debe priorizarse en dichos lugares para que sea efectiva. Igualmente, se estimó preliminarmente que optimizar el IAF de la cobertura arbórea puede resultar más efectivo en la remoción que aumentar el área de arbolado urbano, aunque otros beneficios de los árboles deben tenerse en cuenta para las decisiones de siembra.

PALABRAS CLAVE: cobertura arbórea, contaminación atmosférica, modelo UFORE.

ABSTRACT

At present, the city of Medellín, in Colombia, has a chronic air quality problem. An alternative to reduce the effects of such contamination is to increase tree-lined areas. In this work, the marginal effect of the increase in urban tree cover on the removal of PM2.5 was estimated. In this sense, it uses the UFORE methodology to calculate the removal of this contaminant in a distributed manner over the city, using Sentinel 2A satellite images to identify the coverage and estimate the Foliar Area Index (IAF), which is an input Important for calculations. The records of stations in 2017 were taken as a base. When calculating the removal of PM2.5 for the base condition, a value close to 83 t was found for the entire metropolitan area and 3 t for Medellín. When the total tree area is increased by 1% proportionally throughout the city, the value of the removal increases by 1%. On the other hand, by locating arborization in the areas with the highest concentration of the pollutant, the total removal has an increase close to 1.6%, which would imply that the arborization decision must be prioritized in those places to be effective. Likewise, it was preliminarily estimated that optimizing

tree cover IAF may be more effective in removal than increasing urban tree area, although other tree benefits should be taken into account for planting decisions.

KEYWORDS: air pollution, tree cover, UFORE model.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Medellín es el municipio principal del área metropolitana del Valle de Aburrá, que incluye a los municipios de Barbosa, Bello, Copacabana, Envigado, Girardota, Itagüí, La Estrella, Medellín y Sabaneta. El *Valle...*, que tiene un área aproximada de 1 552 km² y una población aproximada de 3.9 millones (Agudelo y Mirallesa, 2015), se ha urbanizado indiscriminadamente con el paso de los años, aumentando las emisiones contaminantes de actividades masivas como el transporte automotor y de la industria (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019). Además, las condiciones orográficas y meteorológicas generan un proceso de estabilidad atmosférica, debido a la inversión térmica que evita la dispersión y el ascenso de contaminantes, en épocas de transición entre temporadas secas -febrero, marzo, abril- y de lluvia -septiembre, octubre, noviembre (Herrera, 2015; Rendón *et al.*, 2014; Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el valle de Aburrá, 2019; Área Metropolitana del Valle de Aburrá [AMVA] y Universidad Pontificia Bolivariana [UPB] (2018).

Desde 2012, las concentraciones de PM10 y PM2.5 en el *Valle...* han aumentado a niveles por encima de los permisibles para la salud humana, lo cual ha llevado a declarar «contingencias ambientales» por parte de la Autoridad Ambiental desde el año 2016 para toda el área metropolitana (AMVA, 2019; Contraloría General de Medellín y Universidad Nacional de Colombia, 2018). Los picos de contaminación atmosférica que han tenido lugar en los primeros semestres de 2015 a 2019 han motivado la movilización social y el desarrollo de medidas de contingencia y planes a largo plazo para la gestión de la calidad del aire en la región (AMVA, 2019).

Las plantaciones de árboles a gran escala en zonas urbanas, además de dar respuesta a necesidades sociales (de bienestar, recreativas, estéticas), tienen un efecto potencial en la interceptación y eliminación de contaminantes atmosféricos (Reynolds *et al.*, 2017; Selmi *et al.*, 2016), así como en la protección contra los rayos ultravioleta, la mitigación de las islas de calor, la disminución de la escorrentía, la reducción del mantenimiento del pavimento y la reducción de los niveles de ruido del tráfico (Jeanjean, *et al.*, 2017; Rogers, *et al.*, 2015).

Como parte de estas medidas se ha creado un proyecto para emplazar un cinturón verde alrededor de la zona urbana, en virtud de evitar su crecimiento (Agudelo y Miralles, 2015). Igualmente, la Alcaldía de Medellín y el Gobierno Nacional han considerado diferentes medidas para reducir la contaminación del aire, entre las que se encuentran la reforestación y la arborización de diferentes áreas del *Valle...* (Alcaldía de Medellín y Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2011; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). En particular, el Área Metropolitana creó el *Plan de Siembra Aburrá* para plantar un millón de árboles hasta 2019, a través de diferentes programas con la vinculación de la comunidad, los alcaldes metropolitanos, EPM, colectivos ambientales, las comunidades de los territorios, instituciones públicas y privadas. Desde el 2016 se han sembrado especies de árboles nativos como el Guayacán Amarillo y Rosado, Aguacatillo, Balso, Búcaro, Samán, Cábulos, entre otras (AMVA, 2019).

Arroyave *et al.* (2019) identificó para el año 2015 una remoción de 46 toneladas de PM2.5 por árboles urbanos en el Valle de Aburrá, por medio del modelo *i-Tree Eco*, para ello se enviaron datos de calidad del aire y meteorológicos del 2014 al Servicio Forestal de Estados Unidos, los cuales administran la plataforma, sin estimar efectos marginales. Actualmente no hay ninguna herramienta disponible para calcular y proyectar la eliminación de contaminantes del aire por los árboles en esta región.

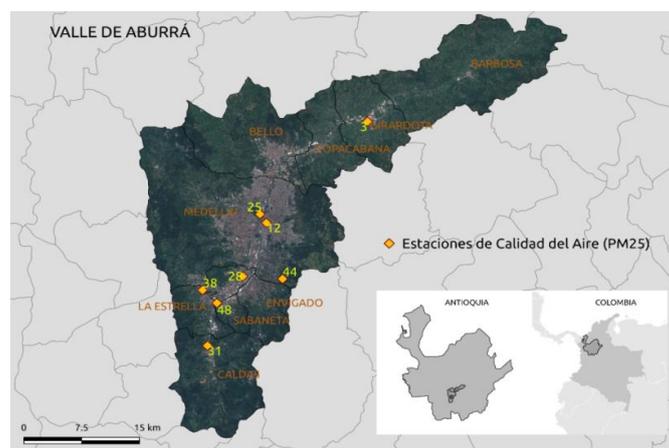
En virtud de contribuir a la solución del problema de contaminación atmosférica en la ciudad, en esta investigación de enfoque cuantitativo, se estimó el efecto marginal que tendría el posible aumento de la cobertura arbórea urbana en el Valle de Aburrá sobre la remoción de PM2.5, para lo cual se utilizó una versión espacialmente distribuida del modelo UFORE. En particular, se consideró el impacto de aumentar o disminuir en un 1% el área sembrada, así como el impacto de incrementar la densidad de la vegetación a través del índice de área foliar (IAF).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

En la *figura 1* se muestra el Valle de Aburrá y los municipios que lo conforman, así como la ubicación de las estaciones de calidad del aire (*tabla 1*) que se tuvieron en cuenta para el análisis de la situación actual, a las cuales se les asigna un área de influencia por medio de la técnica de *Polígonos de Thiessen* (*figura 3*).

Figura 1. El Valle de Aburrá y las estaciones de medición de PM2.5.



Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 1. Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire.

Número	Longitud	Latitud	Nombre	Código	Longitud	Latitud
3	-75.45091	6.37904	SOS Aburra Norte - Girardota	GIR-SOS	-75.45091	6.37904
25	-75.57700	6.26337	Universidad Nacional de Colombia	MED-UNNV MED-	-75.57700	6.26337
12	-75.56958	6.25256	Estación Tráfico Centro	MANT	-75.56958	6.25256
44	-75.55064	6.18254	Tanques La YE	MED-LAYE	-75.55064	6.18254
28	-75.59721	6.18567	Casa de Justicia Itagüí Colegio Concejo de	ITA-CJUS	-75.59721	6.18567
38	-75.64436	6.16850	Itagüí	ITA-CONC	-75.64436	6.16850
31	-75.63863	6.09908	Corporación Lasallista	CAL-LASA	-75.63863	6.09908
48	-75.62749	6.15231	Estación Tráfico Sur	EST-METR	-75.62749	6.15231

Fuente: *Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el valle de Aburrá (2019).*

Cálculo de la remoción de material particulado

Para realizar el cálculo de la remoción de PM2.5 se creó un código en lenguaje *Python*, siguiendo la metodología para la deposición seca de contaminantes del modelo UFORE, planteada por Nowak *et al.* (2013). El flujo horario de remoción de contaminantes por la vegetación se estima con la siguiente ecuación:

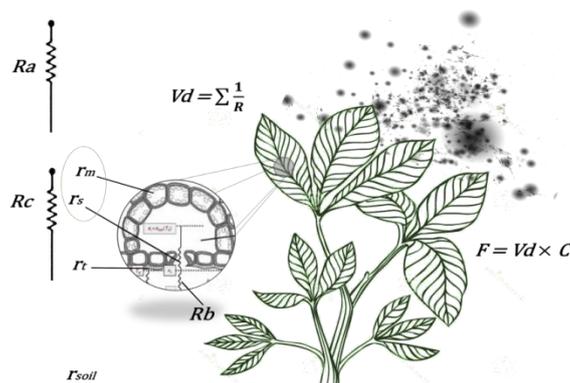
$$F = V_d \cdot C \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde:

- V_d : Velocidad de deposición del contaminante en la superficie de la hoja
- C : Concentración de contaminante

En la *figura 2* se presenta un esquema gráfico del modelo UFORE en general.

Figura 2. Esquema modelo componente deposición seca UFORE.



Nota: En el caso de contaminantes gaseosos V_d es calculado como el inverso de la suma del inverso de la resistencia aerodinámica (R_a), cuasilaminar (R_b) y del dosel (R_c). En el caso de contaminantes de material particulado, V_d depende de la velocidad del viento. **Fuente:** Elaborado a partir de Hirabayashi *et al.* (2011) y Nowak *et al.* (2013).

La remoción se calculó a nivel horario, acumulada para todo el año 2017, con base en los registros de contaminación y meteorológicos suministrados por el Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá (SIATA). Los datos faltantes se imputaron con el método de la media móvil. En la *figura 2*, se presenta el ciclo promedio diario para cada estación.

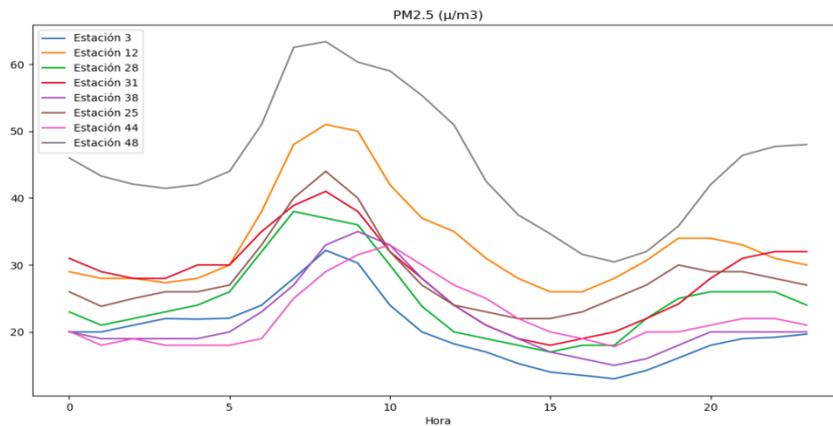
Las velocidades de deposición (que varían en función de la velocidad del viento) y la resuspensión de PM2.5 en los árboles se estimaron a partir de la literatura (Freer-Smith *et al.*, 2004; Beckett *et al.*, 2000; y Pullman, 2009), siguiendo el trabajo de Nowak *et al.* (2013). Los valores de flujo se acumularon cada hora con un porcentaje del PM2.5 acumulado total sobre las horas actuales y anteriores, resuspendidas a la atmósfera según la velocidad del viento local. Durante los eventos de precipitación, el modelo asume que el PM2.5 acumulado, se lava de la superficie dependiendo de la magnitud de la lluvia. El flujo anual a las hojas de los árboles se estimó como el PM2.5 total lavado de estas durante el año, más la cantidad restante al final del año. La remoción se calcula con la siguiente ecuación:

$$R = F \cdot A \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- R es la remoción de contaminación
- F es el flujo contaminante
- A es la cobertura arbórea

Figura 3. Ciclo diario promedio de las concentraciones horarias de PM2.5 en el año 2017.



Fuente: *Elaboración propia.*

Cálculo del IAF

Para estimar el IAF se identificaron primero las coberturas arbóreas con imágenes satelitales *Sentinel 2*, utilizando la plataforma de *Google Earth Engine* (GEE). Se hizo un filtro de las imágenes con menor nubosidad para el año 2017; luego se promedió las imágenes para este año y se calculó el valor del NDVI. El IAF se calculó entonces con la siguiente ecuación:

$$IAF = 0.54 + (9.96 \cdot NDVI) \quad \text{Ecuación 3}$$

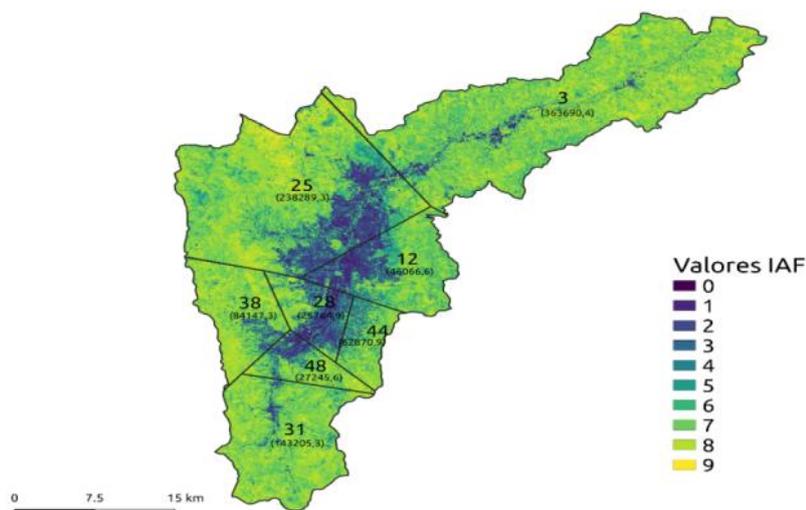
Para validar los rangos de valores de IAF a partir del análisis de imágenes satelitales se utilizó el inventario de la siembra y el seguimiento forestal, que proporcionó el Sistema de Árbol Urbano (SAU), administrado por la Secretaría de Medio Ambiente de Medellín.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Valores de IAF

La *figura 3* muestra los valores medios de IAF que se obtuvieron para el año 2017, como se explicó en la metodología. Se identificó una cobertura de árboles total de 99 128.04 hectáreas, con IAF entre cuatro y nueve, en todo el *Valle...*

Figura 4. Valores de IAF para el Valle de Aburrá y áreas arborizadas (ha), según Polígonos de Thiessen por estación de medición.



Fuente: Elaboración propia.

Remociones de PM2.5 en el área metropolitana

En la *tabla 2* se presentan los resultados de la estimación del modelo UFORE para diferentes condiciones de cobertura arbórea.

Tabla 2. Remoción de material particulado en diferentes condiciones.

Condición	R (t/año) *	% AR **	% A Ar ***
Base (2017)	81.645	0	0
Inicial + 1%	82.461	1	1
Inicial + 1% ZC	82.977	1.63	1
Inicial + Oriental	81.646	0.001	0.002
Inicial + ZSC	82.367	0.88	0.85
Inicial + ZSC (8)	82.289	0.79	0.85
			% R Ar ****
Inicial con IAF 8	73.4	-10.1	33.38
Inicial con IAF 4	150.57	84.42	2.21

Nota: *Remoción de PM2.5. ** Porcentaje que aumenta la remoción con respecto a la inicial. *** Porcentaje en que aumenta cobertura arbórea respecto a la inicial. **** Porcentaje que representa el IAF inicialmente en la cobertura arbórea. Fuente: Elaboración propia.

Primero se calculó la remoción de PM2.5 estimada para los niveles de contaminación y cobertura arbórea con el IAF de base del año 2017. En total, se obtuvo una remoción anual de 81.64 t. En el Valle... se tiene un inventario de emisiones actualizado para el 2016 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Universidad Pontificia Bolivariana, 2018); al asumir que los valores se conservan para 2017, el porcentaje de remoción es del 4.37%.

Cuando se aumenta el área total arborizada en un 1% de manera proporcional en toda el área metropolitana, sin modificar los valores de IAF, la remoción aumenta a 82.46 t, es decir, un incremento del 1% con respecto a la remoción inicial. Por otro lado, cuando se localiza ese 1% de

aumento de la cobertura arbórea en las zonas de mayor concentración del contaminante, la remoción total es de 82.98 t, la cual representa un aumento de 1.63% en la remoción.

A partir de los avances que se han dado en las siembras de árboles en el *Valle...* (Plan de Siembra) se ha determinado que en el área urbana no hay espacios suficientes para esta acción, por tanto, la mayoría de las siembras se han dado en la zona rural y alrededor de aquel.

Un ejemplo de una siembra de árboles reciente fue el de la avenida Oriental en Medellín (*figura 4*), en 2018. Esta arborización, que representa un 0.001% del aumento en el área arbórea, ha tenido cierto impacto en el imaginario de los ciudadanos, aunque la remoción adicional que genera esta zona si está completamente arborizada y con un IAF óptimo de ocho, que es el valor máximo más común para los árboles inventariados en la base de datos de la Secretaría de Medio Ambiente (2018), sería solo de 904.93 gramos, lo que representa un aumento de 0.002% sobre la remoción inicial.

Dado lo anterior, en las imágenes satelitales se identificaron y ubicaron zonas que estuvieran sin arbolado y que se pudieran arborizar, lo cual representó un aumento del 0.85% del área arbórea de 2017, distribuidas sobre el *Valle...* (*figura 4*). Primero, se incrementó la arborización en dichas zonas con un IAF proporcional a los que existen en 2017, dando como resultado una remoción de 82.37 t. Luego, se aumentó esta arborización con un IAF de ocho, lo cual arrojó una remoción 82.29 t.

Por otro lado, para determinar el efecto de la densidad de vegetación se proyectó que todas las zonas con arbolado urbano del año 2017 tuvieran un IAF máximo de ocho, o que fueran árboles que pudieran alcanzarlo como, por ejemplo, *Bauhinia picta*, *Terminalia catappa*. En este caso, la remoción sería de 73.40 t, lo que representa una disminución de alrededor de un 10.10% sobre la remoción base. También se proyecta que todas las zonas tuvieran árboles con un IAF mínimo de cuatro (pudiera ser *Erythrina fusca*). En este caso, la remoción aumentó a 150.57 t, lo cual representa un aumento de 84.42% sobre la remoción base.

Con los cálculos anteriores se esperaba que, con el aumento de la densidad del arbolado, la remoción de PM2.5 aumentara, sin embargo, ocurrió lo contrario. Esto podría explicarse analizando el modelo, pues este calcula la remoción en función del lavado que produce la lluvia por encima de un umbral en función del IAF (0.2 IAF); asimismo la resuspensión depende del viento sobre las hojas, por tanto, las especies de alto valor de IAF (óptimo de ocho) en la cobertura arbórea no serían tan efectivas como las del IAF en la condición actual, mientras que un IAF más bajo (*mínimo* de 4) sí representaría un aumento. No obstante, el modelo de deposición seca no tiene en cuenta las características de las hojas (algunas tienen vellosidades o ceras que pueden afectar la resuspensión y acumulación de partículas), ni considera una capacidad máxima de almacenamiento de PM2.5 en las estas.

Figura 4. Áreas sin cobertura y cobertura proyectada en la avenida Oriental.



Fuente: *Elaboración propia.*

Remoción de PM2.5 en Medellín

Al calcular la remoción de PM2.5 para la zona urbana del municipio Medellín se presentó una remoción de 3.02 t. Cuando se aumenta toda el área arbórea de la ciudad en 1%, la remoción aumenta en 1.3%. Si el aumento se concentra en una zona con mayor contaminación, aumenta la remoción en un 2%.

CONCLUSIONES

El modelo utilizado en este trabajo permite estimar los efectos marginales de remoción de contaminación atmosférica teniendo en cuenta al menos dos condiciones del arbolado: Su distribución espacial y su densidad de hojas. Estos efectos marginales son un aporte en la medida en que permitirán mejorar la planeación de las siembras dirigidas a mejorar la calidad del aire, como es el caso actual de Medellín.

Aunque la remoción de PM2.5 que se estimó con el modelo UFORE para la cobertura arbórea del Valle de Aburrá representa un pequeño porcentaje del flujo contaminante total (*menos del 1%*), es innegable que representa un beneficio adicional a otras medidas de mitigación de los efectos de la contaminación del aire por material particulado.

De los cálculos preliminares se concluye que la densidad de hojas juega un papel importante en la magnitud de la remoción seca. Aparentemente, un valor bajo de IAF sería más efectivo en la remoción de PM2.5 que garantizar un valor alto en la cobertura arbórea. Sin embargo, el modelo no tiene en cuenta otras características del dosel y las hojas que podrían afectar este resultado. Además, la planeación de las siembras debe hacerse también considerando otros beneficios que ofrecen los árboles como la remoción de CO₂, que requiere árboles con mayor biomasa, o la disminución de la temperatura ambiental en ciudades tan urbanizadas como Medellín, lo que representaría una mejora en la circulación atmosférica y en el bienestar de sus ciudadanos.

Como un aporte práctico para los gestores de decisión de la ciudad, este trabajo muestra que es probable que las siembras que se proyectan no representen un aumento substancial en la remoción de contaminación por PM2.5, al menos en el corto plazo, por tanto, es importante tener en cuenta otras medidas de mitigación para este margen de tiempo.

Actualmente, la contaminación atmosférica por PM2.5 es la mayor problemática en el Valle..., sin embargo, es importante evaluar también el efecto que tienen los árboles en la remoción de otros contaminantes como CO, NOx y ozono para estimar más beneficios derivados del arbolado. Igualmente, el modelo UFORE permite evaluar otros aspectos de la vegetación (composición de especies, densidad arbórea y numerosas funciones derivadas) que no fueron objeto de análisis en esta investigación, pero que pueden incidir en los resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudelo, L.C. y Miralles, J.L. (2015). Design and management of the metropolitan green belt of Aburrá Valley, Colombia. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 194, 193–203. <https://doi.org/10.2495/SC150181>
- Alcaldía de Medellín y Área Metropolitana Valle de Aburrá. (2011). *Bio 2030 - Plan Director Medellín, Valle de Aburrá*. (1ra ed.). Editorial Mesa Editores. <https://n9.cl/i3te>
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Universidad Pontificia Bolivariana. (2018). *Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá – Año 2018*. <https://n9.cl/d3kux>
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2019). www.metropol.gov.co
- Arroyave, M., Posada, M., Nowak, D. y Hoehn, R. (2019). Remoción de contaminantes atmosféricos por el bosque urbano en el valle de Aburrá. *Colombia Forestal*, 22(1), 5-16. <http://dx.doi.org/10.14483/2256201X.13695>
- Beckett, K.P., Freer, P.H. y Taylor, G. (2000). Particulate pollution capture by urban trees: effect of species and windspeed. *Global Change Biology*, 6(8), 995-1003. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00376.x>
- Contraloría General de Medellín y Universidad Nacional de Colombia. (2018). *Cuantificación física y económica del impacto de la contaminación atmosférica en salud de la población de la ciudad de Medellín*. <https://n9.cl/7y2i>
- Freer-Smith, P.H., El-Khatib, A.A. y Taylor, G. (2004). Capture of particulate pollution by trees: a comparison of species typical of semi-arid areas (*Ficus nitida* and *Eucalyptus globulus*) with European and North American species. *Water, Air, and Soil Pollution*, 155, 173–187. <https://doi.org/10.1023/B:WATE.0000026521.99552.fd>
- Herrera, L. (2015). *Caracterización de la Capa Límite Atmosférica en el valle de Aburrá a partir de la información de sensores remotos y radiosondeos* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <http://www.bdigital.unal.edu.co/51042/1/1128283242.2015.pdf>
- Hirabayashi, S., Kroll, C. N., y Nowak, D. J. (2011). *Urban Forest Effects-Dry Deposition (UFORE-D) Model Descriptions*, 1–23. <https://cutt.ly/7yDnsWr>
- Jeanjean, A.P.R., Buccolieri, R., Eddy, J., Monks, P. S. y Leigh, R.J. (2017). Air quality affected by trees in real street canyons: The case of Marylebone neighbourhood in central London. *Urban Forestry & Urban Greening*, 22, 41–53. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.01.009>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). Pronunciamiento situación calidad del aire de Medellín [Video]. <https://n9.cl/d8ga>

- Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Bodine, A. y Hoehn, R. (2013). Modeled PM2.5 removals by trees in ten U.S. cities and associated health effects. *Environmental Pollution*, 178, 395–402. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.050>
- Pullman, M. (2009). *Conifer PM2.5 Deposition and Re-suspension in Wind and Rain Events* [Master's thesis, Cornell University]. <https://ecommons.cornell.edu/handle/1813/11239>
- Rendón, A., Wirth, V., Salazar, J.F., Palacio, C.A. & Brötz, B. (December 14 to 18, 2014). Mechanisms of Air Pollution Transport in Urban Valleys as a Result of the Interplay Between the Temperature Inversion and the Urban Heat Island Effect. In *AGU Fall Meeting Abstracts*. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2014AGUFM.B13I0327R/abstract>
- Reynolds, C., Escobedo, F., Clerici, N. y Zea-Camaño, J. (2017). Does “Greening” of Neotropical Cities Considerably Mitigate Carbon Dioxide Emissions? The Case of Medellín, Colombia. *Sustainability*, 9(5), 785. <https://doi.org/10.3390/su9050785>
- Rogers, K., Sacre, K., Goodenough, J., & Kieron Doick. (2015). *Valuing London's Urban Forest: results of the London i-Tree Eco Project*. Treeconomics London. <https://n9.cl/1ua4>
- Secretaría de Medio Ambiente (2018). *Base de datos del Sistema de Árbol Urbano*. <https://www.medellin.gov.co/sau/>
- Selmi, W., Weber, C., Rivière, E., Blond, N., Mehdi, L. y Nowak, D. (2016). Air pollution removal by trees in public green spaces in Strasbourg city, France. *Urban Forestry & Urban Greening*, 17(1), 192–201. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.04.010>
- Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el valle de Aburrá. (2019). https://siata.gov.co/siata_nuevo/

GESTIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Síntesis de polihidroxicanoatos a partir de *Scenedesmus acuminatus*, como alternativa a los plásticos derivados del petróleo.

Synthesize polyhydroxyalkanoates using *Scenedesmus acuminatus*, as an alternative for oil derivated plastics.

Luz Adriana Vizcaíno Rodríguez¹, Juan Luis Caro Becerra, Ramiro Lujan Godínez, Pedro Alonso Mayoral Ruiz y Michel Parra J. Guadalupe

¹Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara, México
adyvizcaino7@gmail.com

Recibido: 17/06/2019

Aceptado: 20/11/2019

Publicado: 27/12/2019

RESUMEN

El uso indiscriminado de plástico ocasiona problemas ambientales; se estima que el proceso de degradación requiere por lo menos de 500 años. Las estrategias para su reciclado requieren del desarrollo de tecnología y concientización de los usuarios. Las alternativas para su reemplazo con materias primas elaboradas mediante métodos biotecnológicos no son sostenibles, debido al elevado costo de producción comparado con los derivados del petróleo. Los polihidroxicanoatos (PHA) son poliésteres clasificados en función de la longitud de cadena de los ácidos grasos, y sintetizados por microorganismos con propiedades similares al polipropileno. El presente estudio tiene como objetivo evaluar el potencial que poseen las cepas de *Scenedesmus acuminatus* para producir PHA. Se estableció una cinética de crecimiento con 30 tubos de ensayo que contenían 20 mL de medio de cultivo Bold y 5 mL de cepa. Se monitoreó con una frecuencia de 72 h la producción de ácidos grasos extracelulares y la biomasa celular. La determinación de ácidos grasos se realizó con la tinción negro sudan y microscopio compuesto con objetivo de 40X. A partir de los 15 días de cultivo se observaron ácidos grasos en el sobrenadante celular. La producción de ácidos grasos fue directamente proporcional a los días de incubación y de acuerdo con la literatura los PHA's se producen en condiciones de estrés celular, cuando hay deficiencia de macronutrientes en el medio de cultivo y alta disponibilidad de fuente de carbono. *Scenedesmus* tiene la capacidad de emplear CO₂ como fuente de carbono, lo cual reduce los costos de operación.

PALABRAS CLAVE: algas, biodegradables, biomasa, bioplásticos, poliéster.

ABSTRACT

The indiscriminate use of plastic causes environmental problems; is estimated that around 500 year are required for its total degradation. The strategies for its recycle require the technology development and the users' conscience. The alternatives which are made by biotechnological methods are not sustainable, due to the elevated cost compared with oil derivate. The polihidroxicanoatos (PHA) are polyesters classified on function of the length of the acid fats chain and synthetized by microorganism with proprieties similar to the polypropylene. The present study objective is to evaluate the potential of the *Scenedesmus acuminatus* strains on the PHA production. A growing kinetics on 30 test tubes with 20 ml as Bold cultivate mean and 5 ml of strain. We monitored it a 72 hla frequency of extracellular acid fats production and cellular biomass. The acid fats presences were determinate with black sudan ink and composed microscopy at 40 X objective. From the day fifth teen on acid fats on the cellular supernatant can be seen. The acid fats were proportional to the incubation days and according to the PHA literature they are produced on cellular stress, when there is a lack of macronutrients in cultivate and high quantity

of carbon. *Scenedesmus* has the capacity to use the CO₂ as a carbon source, which reduce the operation cost.

KEYWORDS: algae, bio plastic, biodegradable, biomass, polyester.

INTRODUCCIÓN

Los polihidroxicanoatos (PHA's) son bioplásticos de origen microbiano, biopolímeros más versátiles que los plásticos derivados del petróleo; ello se debe a que son biodegradables y sintetizados a partir de fuentes renovables de energía, por lo que en un corto periodo de tiempo son reducidos a CO₂ y agua por microorganismos (Serrano *et al.*, 2011; Otero y Fernández, 2013). Por otro lado, las cualidades de las películas plásticas convencionales permiten que sean consideradas elementos indispensables en la vida cotidiana: Bajo costo, propiedades termoplásticas (alargamiento antes de la ruptura), permeabilidad al oxígeno, capacidad de funcionar como material de empaque, entre otras. Dichas propiedades las convierten en residuos difíciles de eliminar, lo cual, aunado a la gran dependencia de la sociedad actual a su empleo, ocasiona problemas de contaminación ambiental irreversibles. Actualmente se consumen 1 000 000 de bolsas por minuto, de acuerdo con Valero *et al.* (2013). Se estima una tasa de crecimiento anual de consumo de plásticos de la industria petroquímica del 9% (Arroyave *et al.*, 2013), lo cual ocasiona la contaminación visual y muerte de animales, según González *et al.* (2013) y Guzmán *et al.* (2017).

La metodología diseñada para el reciclaje de productos plásticos derivados del petróleo no se considera efectiva, pues estos materiales destacan por su durabilidad y resistencia a la biodegradación no solo por su composición química, sino también por la aplicación de cubiertas, aditivos y pigmentos. El término biodegradable hace referencia al potencial que tienen los microorganismos para desintegrar los polímeros y reducir el tamaño de partícula de los mismos, mediante la ruptura de enlaces intermoleculares. Para el caso particular de los plásticos derivados del petróleo, debido a su insolubilidad en el agua, los microorganismos no pueden fagocitar el polímero y su degradación involucra la liberación de exo-enzimas, que degradan el polímero y producen CO₂, agua, metano y materia orgánica, con el consecuente gasto de energía.

Sin embargo, se estima que para el caso de polipropileno y polietileno este proceso puede llevar alrededor de 500 años, de acuerdo con González *et al.* (2013). Por otro lado, la incineración de los mismos genera subproductos con impacto ambiental: Ácido cianhídrico y clorhídrico con daños en la salud de las personas expuestas. Se calcula que 25 millones de toneladas de plásticos por año se acumulan en suelos y agua.

Ante esta problemática, diversos investigadores se han enfocado en el desarrollo de materias primas biodegradables para sustituir los plásticos convencionales; por ejemplo, se han empleado biopolímeros como proteínas (colágeno, queratina, gelatina); carbohidratos como el alginato, almidón, celulosa, quitina, pectina y lípidos (ceras, ácidos grasos, mono-glicéridos), sin olvidar el ácido poli-láctico y los poliésteres microbianos: PHAs (Cruz y López, 2013; Figueiredo *et al.*, 2014). Los PHA's son poliésteres intracelulares, producidos mediante procesos de fermentación microbiana; debido a su insolubilidad son almacenados en el interior de las células y en algunos casos llegan a representar hasta el 96% de la biomasa seca (Rojas, Hoyos y Mosquera, 2016). De acuerdo con la literatura, las condiciones de cultivo con alta disponibilidad de fuente de carbono, bajos niveles de nitrógeno o fósforo, favorecen la producción de PHA's. Contienen estructuras monoméricas de 3-hidroxiexanoato, 3-hidroxiocetanoato, 3-hidroxi-decanoato, y 3-hidroxi-dodecanoato. De acuerdo con la literatura, estos pueden ser sintetizados a partir de alcanos, alquenos, alcoholes y ácidos carboxílicos; cabe mencionar que la estructura monomérica tiene relación con la fuente de carbono suministrada (Vanegas y Ramírez, 2016).

En cultivos de bacterias, arqueas y microalgas, los polihidroxicanoatos son polímeros de ácidos hidroxialcanoicos que funcionan como material de reserva de carbono y energía. Se forman por la condensación del grupo carboxilo de un monómero y el grupo hidroxilo del siguiente, con la formación de un enlace éster, por acción de la enzima PHA polimerasa. Se clasifican en función de la longitud de cadena de los ácidos hidroxialcanoicos de los que están constituidos, PHA de cadena corta (PHA-scl) de tres a cinco átomos de carbono, PHA's de cadena media (PHA-mcl) conformados por monómeros de seis a 14 átomos de carbono y PHA mixtos constituidos por monómeros de cadena corta y media (Vanegas y Ramírez, 2016).

Dentro de las propiedades físicas y mecánicas de los PHA's se menciona que son termoplásticos y permiten la obtención de películas con propiedades similares a los plásticos derivados del petróleo, lo cual los hacen candidatos para su aplicación en la industria de empaques, farmacia, alimentos. Cabe mencionar que, debido su biocompatibilidad con el tejido humano, se han empleado como hilo de sutura, sistemas de liberación de fármacos, entre otras aplicaciones. Estas moléculas actualmente se comercializan y producen por fermentación a partir de la bacteria *Ralstonia eutropha* técnicamente su campo de aplicación es muy prometedor, sin embargo, es necesario disminuir los costos de producción de acuerdo con González *et al.* (2013).

Los problemas de contaminación ocasionados por el empleo de plásticos derivados del petróleo motivan el desarrollo del presente trabajo con la finalidad de establecer las bases para el diseño de un proceso sustentable y sostenible para la producción de polímeros biodegradables a partir del cultivo de algas. En este contexto el objetivo fue determinar el potencial que posee el cultivo de algas clorófitas, identificadas como *Scenedesmus acuminatus* ecotipo Cajititlán, para la producción de biopolímeros como una alternativa a la industria petroquímica y una opción para la industria de alimentos, farmacéutica y cosmética.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el laboratorio de Microbiología de la Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara, localizada en Jalisco, México, en colaboración con estudiantes de la carrera de Ingeniería en Biotecnología, en periodo de estancia de Investigación.

Material biológico

Se empleó una cepa de *Scenedesmus acuminatus*, la cual se aisló a partir de muestras de agua del lago Cajititlán. Las muestras se recolectaron a partir de cinco estaciones de monitoreo, por arrastre de un minuto; se empleó una red de fitoplancton con un entramado de mono-filamentos con abertura de 25 μm diámetro.

Las muestras fueron inoculadas en medio de cultivo Bold suplementado con 13 g de agar, en condiciones foto autotrófica, a temperatura de 18°C a 25°C con fotoperiodo de 12 h. A partir de colonias aisladas se transfirió a medio líquido.

Preparación de medio de cultivo Bold

Se elaboró disolviendo los siguientes componentes: KH_2PO_4 : 175 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, CaCl_2 25 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; MgSO_4 : 75 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; NaNO_3 250 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; KH_2PO_4 : 75 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; NaCl : 25 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; H_3BO_3 : 11.42 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; solución de micro elementos 1 $\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$, solución 1: 1 $\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$; solución 2: 1 $\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$. Solución de micro elementos: ZnSO_4 : 8.82 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; MnCl_2 : 1.44 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; MoO_3 0.71 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; CuSO_4 : 1.57 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$: 0.49 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Solución 1: Na_2EDTA ; 50 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; KOH : 3.1 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Solución 2: FeSO_4 ; 4.98 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; H_2SO_4 (concentrado) 1 $\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$.

Cinética de crecimiento

Se emplearon 30 tubos de ensayo con 20 mL de medio de cultivo Bold y cinco mililitros del cultivo celular; los cuales se monitorearon con frecuencia de 72 h, por triplicado para la determinación de biomasa celular y ácidos grasos extracelulares. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

Determinación de biomasa celular

Se emplearon discos de papel filtro *Whatman* grado 1, los cuales se llevaron a peso constante en un horno de secado a 80°C durante media hora. Se registró el peso inicial, posteriormente, se filtraron 25 mL del cultivo celular y se registró el peso de biomasa fresca. La muestra se conservó a 80°C durante 24 hasta peso constante y después se registró el peso final. El peso de biomasa se determinó restando el peso del papel filtro al peso total (papel y biomasa). Los resultados se graficaron en rendimiento expresado como g·L⁻¹ de cultivo.

Extracción de ácidos grasos

Mediante filtración se retiró la biomasa celular del medio de cultivo. El sobrenadante, 25 mL, se mezcló con 25 mL de dimetil-éter y se conservaron en agitación constante durante 30 minutos. Con el empleo de una pera de decantación se separó la fase oleosa. Mediante destilación con empleo de equipo *soxlet*, se recuperó la fracción oleosa. Finalmente, se determinó el volumen de aceite recuperado empleando una probeta de 25 mL.

Observación de biopolímeros

Se empleó un microscopio compuesto marca Leica con objetivo de 40 X, se empleó negro de Sudán como colorante. Se colocó 100 µL de cultivo en un portaobjetos y se fijó con calor, se añadió el colorante y se dejó en contacto durante 60 segundos; posteriormente, se enjuagó con agua destilada para eliminar el exceso de colorante y se observó en el microscopio.

Recuperación de polihidroxialcanoatos (PHA s)

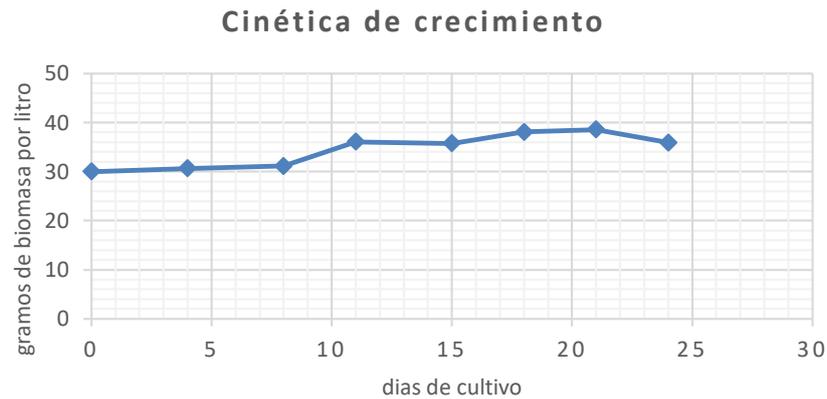
La fracción acuosa se trató con etanol al 50% y se conservó a 80°C durante cinco horas, luego el precipitado se recuperó por centrifugación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la *figura 1* puede observarse la cinética de crecimiento del cultivo celular, donde la biomasa seca se incrementó desde 30 g·L⁻¹ hasta 35.92 g·L⁻¹ en 25 días de incubación. Cuando se emplean cultivos microbianos para la síntesis de PHA's se realizan curvas de crecimiento con la finalidad de encontrar el tipo de fuente de carbono (melaza, glucosa, sacarosa, fructosa, entre otros) y la concentración ideal de la misma, pues altas concentraciones inhiben el crecimiento de microorganismos y las bajas concentraciones producen bajos rendimientos (Ohse *et al.*, 2015).

De acuerdo con Vanegas y Ramírez (2016), en un estudio realizado con *Pseudomonas fluorescens* y melaza como fuente de carbono, cuando emplearon concentraciones de 60 a 10 g·L⁻¹, la producción de PHA's se realizó durante la fase estacionaria del cultivo, cuando se estabilizó la producción de biomasa (0.46 g·L⁻¹) y resultó independiente del contenido de amonio. Cabe mencionar que el tiempo de incubación del cultivo microbiano (cinco días) fue menor respecto de la cinética realizada con el cultivo de algas.

Figura 1. Cinética de crecimiento de cultivos de *Scenedesmus acuminatus* en medio de cultivo Bold.



Fuente: Elaboración propia.

La síntesis de ácidos grasos y su exportación al medio de cultivo incrementó a partir de los 15 días de incubación; no se determinaron ácidos grasos en el cultivo celular, únicamente se recuperaron del medio de cultivo con la finalidad de emplear el cultivo celular en futuros estudios, en sistemas abiertos que permita reutilizar el cultivo. Ver figura 2.

Figura 2. Producción de biopolímeros extracelulares por *Scenedesmus acuminatus* en 24 días de cultivo.



Fuente: Elaboración propia.

El proceso de extracción de biopolímeros incluye las siguientes fases: Rompimiento celular, separación del medio de cultivo de la biomasa, recuperación del polímero y purificación del mismo. La aplicación de operaciones unitarias llega a representar el 50% del costo de producción de los PHA's, por tanto, la disminución de etapas en los procesos de obtención de los biopolímeros, así como el empleo de sustancias y procesos amigables con el medio ambiente y que garanticen la conservación de las propiedades del biopolímero, es uno de los principales retos de este tipo de tecnologías (Quines *et al.*, 2015); por lo cual, la producción a partir de *Scenedesmus* es muy atractiva pues los biopolímeros pueden recuperarse a partir del medio de cultivo.

La producción de polímeros con potencial de ser identificados como polihidroxiacanoatos fue menor respecto de la producción de aceite con rendimientos de $0.16 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ y $8.5 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ respectivamente, recuperados solo a partir de la solución sobrenadante, con la finalidad de conservar y propagar la biomasa (figura 3).

Figura 3. De izquierda a derecha se observa el aceite y polihidroxicanoatos (PHA's) recuperados del medio de cultivo de *Scenedesmus acuminatus*, después de 24 días de incubación.



Fuente: Elaboración propia.

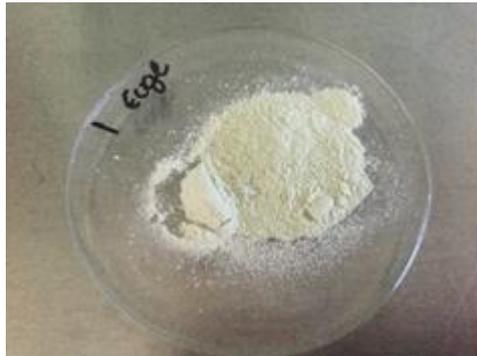
De acuerdo con Rojas, Hoyos y Mozquera (2016), a partir de cultivos de *Ralstonia eutropha*, empleando harina de yuca como fuente de carbono, se obtuvieron $0.62 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ del polímero (sin embargo, el acondicionamiento de la yuca para la obtención del jarabe de dextrosa requirió un proceso de hidrólisis enzimática que incrementa los costos de producción), comparado con los cultivos de algas que emplean CO_2 como fuente de carbono.

De acuerdo con Sassi *et al.* (2019), el perfil lipídico de ácidos grasos para cepas de *Scenedesmus acuminatus* corresponde a: Caprílico (C8:0) 0.30; Láurico (C:12:0) 0.30; Mirístico (C:14:0) 1.30; Miristoleico (C14: 1) 1.00; 9-pentadecenoico (C15:1) 0.30, Palmítico (C16:0) 38.0; Palmitoleico (C16:1) 17.60; 7,10,13-hexadecatrieno (C16:3, ω -3) 1; Estearico (C18:0), 1.1; Oleico (C18:1 ω -9), 9.20; Vaccenico (C18:1)1; Ácido linoleico (C18:2 ω -6) 19.3; Alfa-linoleico (C18:3. ω -3) 6.70; Esterearidónico (C:18:4 ω -3) 0.80; Araquidónico (C:20, 0:4 ω -6), 19; el total de ω -3 fue de 8.70, el de ω -6 21.20, el ω -9 9.20. La relación de ω 6 / ω 3 fue de 2.44 y la relación PUFA/SFA de 0.73. De acuerdo con Sassi *et al.* (2019), una buena relación ω 6/ ω 3 es recomendable para la industria de alimentos porque ambos son precursores en la síntesis de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (\geq C20) PUFA.

Ello permite inferir que el cultivo de *Scenedesmus acuminatus* es una fuente renovable con gran potencial de aplicación de sus metabolitos en la industria de alimentos, pues los costos de producción son más bajos comparados con los microorganismos que requieren condiciones más estrictas de esterilidad y fuente de carbono.

La *figura 4* permite observar el biopolímero en forma de polvo; presenta una coloración blanca, ligeramente coloreado por la presencia de clorofilas tipo a, b y carotenoides presentes como subproducto en la etapa de purificación. Los resultados de la presente investigación coinciden con los reportados por Cruz y López (2013), los cuales mencionan que se pueden preparar en forma fluida o bien como polvo deshidratado. Los investigadores recomiendan su empleo en la elaboración de bolsas, pañales desechables, artículos de servicio, entre otros; sin embargo, sugieren que su empleo se ve limitado en la industria de alimentos por sus propiedades físicas y su elevado costo de producción.

Figura 4. Biopolímeros en polvo con propiedades plastificantes sintetizados a partir de cultivos de *Scenedesmus acuminatus*.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con Rojas, Hoyos y Mosquera (2016), en el 2005 la producción de un kilogramo de PHA's mediante fermentación bacteriana costaba 14 dólares más que un kilogramo de plástico convencional, lo cual representa uno de los principales retos de la aplicación de bioplásticos.

Figueiredo *et al.* (2014) reportaron el aislamiento de tres cepas microbianas con capacidad de producir PHA's a partir de lodos activados de plantas de tratamiento, identificadas como *Aeromonas sobria*, *Shingomonas paucemobilis*, *Aeromonas hydrophila*; mencionan, además, que existe una gran diversidad de microorganismos con capacidad de producir PHA's, aun cuando son pocos los microorganismos que tienen la capacidad de producirlos a gran escala y a un bajo costo.

No obstante, existe la metodología y la posibilidad de producir bioplásticos, y es necesario continuar buscando alternativas más sustentables y sostenibles. Cabe mencionar que los biopolímeros pueden procesarse con las tecnologías diseñadas para los convencionales, tales como extrusión inyección o soplado; así como también puede ser mezclado en diferentes proporciones, en función de las propiedades buscadas.

Es necesario continuar con las pruebas que permitan identificar y clasificar los biopolímeros producidos; por ello, es importante destacar que el alga en estudio *Scenedesmus acuminatus* tiene ventajas respecto de los cultivos de microorganismos convencionales, como son la factibilidad del uso de CO₂ como fuente de carbono, y la translocación de biopolímeros al medio extracelular, lo cual reduce los gastos de producción, sin olvidar el potencial que esta cepa posee para producir otras biomoléculas con aplicación en la industria de alimentos como clorofilas, antioxidantes, ácidos grasos, entre otros. También puede destacarse que la cepa corresponde a un ecotipo de la región y por ende está adaptada a vivir en las condiciones ambientales que prevalecen en Jalisco.

CONCLUSIONES

Se demostró que la cepa de *Scenedesmus acuminatus* ecotipo Cajititlán tiene un gran potencial de aplicación en la producción de biopolímeros. Las condiciones de cultivo ensayadas favorecieron la producción de polihidroxialcanoatos y aceite. Es necesario continuar con las pruebas para determinar las propiedades de los PHA's producidos, así como establecer diseños experimentales con bajos niveles de fosfato en el medio de cultivo para promover el estrés celular e incrementar los rendimientos de PHA's.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arroyave, R.A. L., Cardona, B.M., Agudelo, E. y Lina, M. (2013). Identificación de cepas nativas con potencial para obtención de polihidroxicanoatos -(PHAS) en Lodos Activados. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 69-76. <https://n9.cl/lijk>
- Cruz, R. y López, A. (2013). Biopolímeros y su integración con polímeros convencionales como alternativa de empaque de alimentos. *Temas selectos de Ingeniería de los Alimentos*, 7(2), 42-52.
- Figueiredo, V.B., Campos, I., Sousa, S., Silva, R. da, y Druzian, I. (2014). Produção e caracterização de polihidroxicanoatos obtidos por fermentação da glicerina bruta residual do biodiesel. *Química Nova*, 37(7), 1111-1117. <https://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20140183>
- González, Y., Meza, J.C., González, O., y Córdova, J.A. (2012). Síntesis y biodegradación de polihidroxicanoatos: plásticos de origen microbiano. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 29(1),77-115. <https://n9.cl/ltkh>
- Guzmán, C., Hurtado, A., Carreño, C. y Casos, I. (2017). Producción de polihidroxicanoatos por bacterias halófilas nativas utilizando almidón de cáscaras de *Solanum tuberosum* L. *Scientia Agropecuaria*, 8(2), 109-118. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.02.03>
- Ohse, S., Bianchini, D.R., Ávila, R. Gordo, C.R., Badiale, E.F. y Roberto, C.P.C. (2015). Lipid content and fatty acid profiles in ten species of microalge. *IDESSIA*, 33(1), 93-101. <https://n9.cl/ct8g>
- Otero, I. y Fernández, P. (2013). Bioprospección de bacterias productoras de polihidroxicanoatos (PHA'S) en el Departamento de Nariño. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 12-20. <https://n9.cl/rr2fm>
- Quines, K.M., Schmidt, M., Zanfonato, K., Schmidell, W. y Aragão, M.F. (2015). Métodos de extração de Poli-Hidroxicanoatos a partir de biomassa bacteriana. *Química Nova*, 38(9), 1207-1218. <https://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20150129>
- Rojas, E., Hoyos, J.L. y Mosquera, S.A. (2016). Producción de polihidroxicanoatos (PHAs) a partir de *Ralstonia eutropha* en un medio con harina de yuca como fuente de carbono. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(1), 19-26. [https://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(14\)19-26](https://dx.doi.org/10.18684/BSAA(14)19-26)
- Sassi, K., Kardinele B., Silva, J. da, Calixto, C., Sassi, R. y Sassi, C. (2019). Metabolites of interest for food technology produced by microalgae from the Northeast Brazil. *Revista Ciência Agronômica*, 50(1), 54-65. <https://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20190007>
- Serrano, J., Sastoque, L. A., Montoya, D. y Moreno, N. (2011). Análisis de las polihidroxicanoato sintasas (PhaC1 y PhaC2) en una cepa de *Pseudomonas fluorescens* IBUN S1602, aislada en suelos colombianos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 13(2), 84-96. <https://n9.cl/anc05>
- Valero, M.F., Ortegón, Y. y Uscategui, Y. (2013). Biopolímeros: Avances y Perspectivas. *Dyna*, 80(181), 171-180. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/20642/45329>
- Vanegas, D.M. y Ramírez, M.E. (2016). Correlación del Crecimiento de *Pseudomonas fluorescens* en la Producción de Polihidroxicanoatos de Cadena Media (PHA_{MCL}) mediante Modelos Primarios de Gompertz, Logístico y Baranyi. *Información tecnológica*, 27(2), 87-96. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000200011>

GESTIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Evaluación de la producción de metano de vinazas mediante digester anaerobio tipo batch.

Evaluate the stillage methane production with a batch type anaerobically digester.

Michelle Stefany García Salazar¹, Sandy Pamela Intriago Zambrano, Julio Abel Loureiro Salabarría y Carlos Ricardo Delgado Villafuerte

¹Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Ecuador
michellegs-95@hotmail.com

Recibido: 17/06/2019

Aceptado: 20/11/2019

Publicado: 27/12/2019

RESUMEN

En la industria azucarera los efluentes líquidos del proceso de producción de etanol, como la vinaza, tienen potencial para ser empleado en digestión anaerobia por la cantidad de materia orgánica que contiene. En esta investigación se realizó un diseño experimental unifactorial a escala laboratorio entorno a la concentración de sólidos volátiles con cinco tratamientos y tres repeticiones. En un total de 15 reactores Batch se introdujo inóculo y la concentración deseada de vinaza en dilución como sustrato durante 21 días. El propósito es evaluar la producción de biogás y metano en relación al contenido de sólidos volátiles y demanda química de oxígeno. Se determinó que el tratamiento (T5) tuvo una mayor producción de biogás de 2.87 L y metano 1.52 L, representando el 51.9% de su composición. Esto se debe a que el inóculo fue adaptado previamente con vinaza concentrada. Se demostró que la vinaza puede ser aprovechada por su potencial para producir biogás además de que el tratamiento contribuye a la disminución del impacto ambiental que provoca la industria azucarera.

PALABRAS CLAVE: biogás, digestión anaerobia, inóculo, metano, vinaza.

ABSTRACT

On the sugarcane industry the liquid effluents of the ethanol production, such as stillage, can be used on the anaerobically digestion. On this research we realize an experimental design at a lab scale regarding volatiles solid concentration with five treatments and three repetitions. We put in fifteen Batch reactors the desire concentration stillage in dissolution as a substrate for twenty-one days. The purpose is to evaluate the biogas and methane production on relation with volatiles solids and the chemical demand of oxygen. We determinate that the (T5) treatment had a higher biogas and methane production, representing the 51.9% of its composition. This was possible because the inoculum was previously adapted on concentrated stillage. It was proved that stillage can be used due to its capacity to produce biogas furthermore it contributes to reduce the environmental impact of the sugarcane industry.

KEYWORDS: anaerobically digestion, biogas, inoculum, methane, stillage.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial los residuos agroindustriales aumentan de forma constante a causa del crecimiento poblacional y su gran demanda (Dormond *et al.*, 2011), lo cual trae consigo un aumento en los desechos que se genera de manera diaria en las plantas procesadoras industriales, que a su vez se incrementan en todo el orbe.

Ecuador como país productor de caña de azúcar aprovecha sus recursos produciendo etanol a partir de las destilerías de alcohol (Galindo, 2016). El alcohol producido en la fermentación contiene una gran cantidad de impurezas, por lo que es sometido a varias etapas de separación por destilación, terminando las impurezas más pesadas en las aguas residuales, denominadas vinazas (Rennola *et al.*, 2007), las cuales tienen un gran impacto ambiental por su alto contenido orgánico y elevada cantidad de demanda química (40 000 mg/litro) y bioquímica de oxígeno (12 000 mg/litro) (Salazar, Sánchez y Aucatoma, 2009).

Dicha situación requiere dar una gestión adecuada a estos residuos mediante la determinación de su composición, propiedad y cantidad, de forma que pueda definirse la tecnología más apropiada para su conveniencia y crearse alternativas de reutilización para disminuir el impacto ambiental que estos residuos provocan (Dormond *et al.*, 2011; Gavilanes, 2014).

Según González *et al.* (2015) se pueden aprovechar estos residuos del sector agroindustrial mediante la tecnología de la digestión anaerobia, siendo utilizados con frecuencia en el proceso de la co-digestión y que involucra la transformación de los mismos en biogás. Desde el punto de vista ambiental, la «metanización» mitigaría el impacto ambiental y posibilita su aplicación agrícola por el contenido valioso de nutrientes inorgánicos presentes en los lodos residuales del tratamiento (Moraes, Zaiat y Bonomi, 2015; Valeiro *et al.*, 2017).

Por estas razones planteadas, el trabajo que se presenta tiene como propósito evaluar la producción de biogás de la vinaza, mediante tratamiento anaerobio, como forma de aprovechamiento de este efluente producto de destilerías.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El proyecto se realizó en los Laboratorios de Agroindustria, de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (ESPAM MFL), situados a 0°49'35.166" latitud Sur y 80°11'11.496" latitud Oeste.

Diseño experimental

El factor en estudio considerado para el proceso de digestión anaerobia fue el porcentaje de dilución de concentración de la vinaza y las variables a medir fueron la producción de metano y biogás.

Tabla 1. *Diseño experimental realizado.*

Diseño experimental	DCA-unifactorial				
Número de tratamientos	5				
Número de repeticiones	3				
Factor	Porcentaje de dilución de la vinaza				
Nivel	10%	20%	30%	40%	100%
Tratamiento (T)	1	2	3	4	5

	T ₁ R ₁	T ₂ R ₁	T ₃ R ₁	T ₄ R ₁	T ₅ R ₁
Nomenclatura (réplica)	T ₁	T ₂ R ₂	T ₃ R ₂	T ₄ R ₂	T ₅ R ₂
	R ₂				
	T ₁	T ₂ R ₃	T ₃ R ₃	T ₄ R ₃	T ₅ R ₃
	R ₃				

Fuente: *Elaborada por los autores.*

Toma de muestra

Se tomó una muestra de las aguas residuales (vinaza) obtenida de una destilería ubicada en la comunidad Mocerita, en el cantón Junín. Para su manejo y recolección de muestra, se consideró la siguiente norma del Instituto Ecuatoriano de Normalización (2013): *NTE INEN 2169:13*.

Caracterización de la vinaza

Se caracterizó la vinaza en el Laboratorio de Química Ambiental y Suelos, de acuerdo con *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association [APHA], 2012). Los parámetros fueron: temperatura, pH, sólidos volátiles, demanda química de oxígeno y sulfatos.

Adaptación de inóculo

La adaptación del inóculo se fundamentó en la metodología de (Guevara, 1999). Se utilizó un recipiente de 1.35 L, desinfectado con hipoclorito de sodio de acuerdo a Camacho, Villada y Hoyos (2017). En cada uno de los reactores se prepararon 200 g de estiércol vacuno y se disolvieron hasta un volumen total de 1 000 mL con agua destilada. Las condiciones y características que se estipularon fueron:

Tabla 2. *Condiciones de operación del reactor.*

PARÁMETROS	VALORES	UNIDADES	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS
<i>Condiciones de operación del digestor</i>			
Tipo de reactor	BATCH		(Vásquez y Riveros, 2013)
Tipo de digestión	anaerobia		(Lorenzo y Obaya, 2005)
Volumen total	1.35	L	-
Volumen de biogás (26% v/v)	0.35	L	-
Volumen mezcla E+A (74% v/v)	1	L	(Guevara, 1999)
Volumen de estiércol (E)	0.2	L	(Guevara, 1999)
Volumen de agua (A)	0.8	L	(Guevara, 1999)
<i>Condiciones iniciales fijas</i>			
Temperatura	32	°C	(Sanabria, Durán y Gutiérrez, 2012)
Fermentación	Mesofílico		(Vásquez y Riveros, 2013)
Tiempo de fermentación	21	días	(Bermúdez, Hoyos y Rodríguez, 2000)
Agitación	manual		(Galarza y Gutiérrez, 2013)
pH controlado	6.5 - 8		(Aristizábal, 2015)

Fuente: *Elaborada por los autores.*

Caracterización de inóculo

Se caracterizó el inóculo adaptado previamente de acuerdo con *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). Los parámetros fueron: temperatura, pH, sólidos volátiles y demanda química de oxígeno.

Preparación de las unidades experimentales

Se prepararon 15 digestores de acuerdo al diseño experimental en base a la metodología adaptada de los autores Lorenzo y Obaya (2005) y Vásquez y Riveros (2013). Las condiciones y características que se estipularon fueron:

Tabla 3. Condiciones de operación del digestor.

Parámetros	Valores	Unidades	Referencias bibliográficas
Condiciones de operación del digestor			
Tipo de reactor	BATCH		(Vásquez y Riveros, 2013)
Tipo de digestión	anaerobia		(Lorenzo y Obaya, 2005)
Volumen total	3	L	-
Volumen de biogás (30% v/v)	0.9	L	-
Volumen mezcla I:S (70% v/v)	2.1	L	-
Volumen de inóculo (I)	0.84	L	-
Volumen de sustrato (S)	1.26	L	-
Condiciones iniciales fijas			
Concentración de inóculo	2	g SV /L	(Torres y Pérez, 2010)
Temperatura	32	°C	(Sanabria, Durán y Gutiérrez, 2012)
Fermentación	Mesofílico		(Vásquez y Riveros, 2013)
Tiempo de fermentación	21	días	(Bermúdez, Hoyos y Rodríguez, 2000)
Agitación	manual		(Galarza y Gutiérrez, 2013)
pH controlado	6.5 - 8		(Aristizábal, 2015)

Fuente: Elaborada por los autores.

Una vez caracterizados el sustrato y el inóculo, se agregó el volumen de acuerdo a las condiciones de operación del digestor:

- El volumen del inóculo adaptado que se adicionó fue calculado en base a la concentración requerida (2 gSV /L), metodología basada de Torres y Pérez (2010).
- El volumen del sustrato fue dado de acuerdo al porcentaje de dilución de concentración de la vinaza. Los porcentajes de la vinaza diluida son 10%, 20%, 30%, 40% y 100% para T₁, T₂, T₃, T₄ y T₅ respectivamente, considerando al T₅ como vinaza pura o concentrada.
- El volumen requerido de agua para diluir la vinaza fue determinado en base a la fórmula de volumetría (Díaz, Fernández y Paredes, 1997): $V_1 C_1 = V_2 C_2$

Control de las unidades experimentales

Cada siete días se extrajo una muestra por cada unidad experimental en estudio.

Tabla 4. Variables de control de las unidades experimentales.

VARIABLES	METODOLOGÍA	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA
SV	Standard Methods 2540E	(APHA, 2012)
DQO	Standard Methods 5220D	(APHA, 2012)
Biogás*	Método volumétrico	(Pacheco, 2016)
Metano*	Método de purificación de biogás para remoción CO ₂ y H ₂ S.	(Torres y Pérez, 2010) (Viquez, 2010)

Nota: *Estas variables fueron controladas diariamente. **Fuente:** Elaborada por los autores.

Análisis estadísticos

Se realizaron los resultados mediante el Software IBM SPSS Statistics utilizando el análisis de varianza para la valoración de las medias y la prueba de comparación múltiple de medias de acuerdo con el criterio de *Tukey* (HSD) para establecer diferencias significativas ($p < 0.05$). De esta manera se establece cuál es el tratamiento óptimo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del sustrato e inóculo

El siguiente cuadro refleja los resultados obtenidos de la caracterización del inóculo adaptado previamente y además la caracterización de la vinaza (sustrato), el cual coincide con valores similares a otros estudios (Bermúdez, Hoyo y Rodríguez, 2000; Moraes, Zaiat y Bonomi, 2015; Pérez, Pérez y Zumalacárregui, 2017), lo que considera que el sustrato está en rangos típicos por su naturaleza.

Tabla 5. Caracterización del sustrato antes de ser usado en el tratamiento.

PARÁMETROS	UNIDADES	SUSTRATO	INÓCULO
pH		3.25	6.71
T	°C	25.3	29
DQO	g/L	41.6	25
ST	g/L	21.97	21.34
SV	g/L	19.18	17.67
SO ₄	mg/L	273	-

Fuente: Elaborada por los autores.

Además, se muestra un elevado contenido de sulfatos de 273 mg/L en la vinaza. De este resultado se deriva la hipótesis de que pueden desarrollarse con gran intensidad las bacterias formadoras de sulfuro de hidrógeno (H₂S) en el medio anaerobio, debido a la cantidad sustentable de sulfatos, a menos que se disminuya la concentración existente en el medio. Este valor es considerado un punto importante debido a que excede los 160 mgSO₄/L que los autores Lorenzo y Obaya (2005) consideran como límite, por lo que las bacterias metanógenas tienden a inhibirse durante el proceso y la producción de biogás sería menor, así como su poder calórico (Lorenzo, Chanfón y Pereda, 2013).

Producción de biogás y metano por tratamiento

Se resume el promedio de valor acumulado de biogás y metano por cada tratamiento, de la siguiente manera:

Tabla 6. Producción de biogás y composición de metano

	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
Biogás total (L)	1.72	1.21	1.85	1.88	2.87
Metano (L)	0.99	0.60	0.84	1.02	1.52

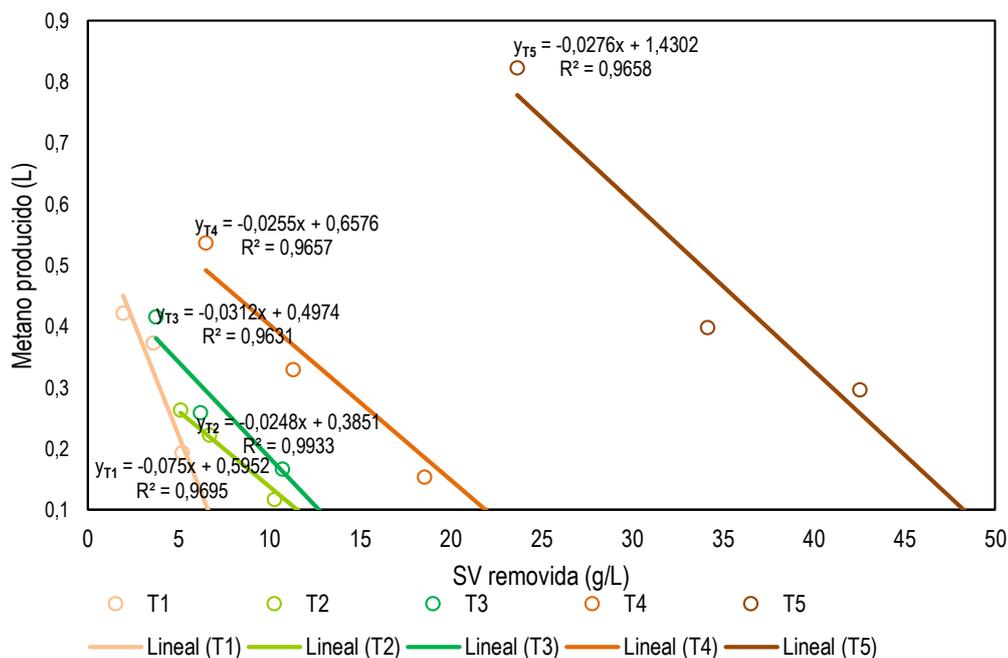
Fuente: Elaborada por los autores.

El tratamiento T₁ obtuvo el mayor porcentaje de CH₄ (57.4%), sin embargo, se recolectó mayor volumen de biogás en el tratamiento T₅, resultando también mayor el volumen de metano. Por lo cual, el tratamiento que mayor producción de biogás produjo fue el T₅ con un valor de 2.87 L y se debe a la mayor cantidad de materia orgánica contenida en comparación con los otros tratamientos (Sánchez *et al.*, 2016). Esto se explica debido a la presencia de sulfuro de hidrógeno dentro de la composición del biogás, pues la vinaza contiene niveles de sulfatos considerables y dependerá de la concentración en que se presente (Lorenzo, Chanfón y Pereda, 2013).

Relación entre las variables controladas

En la *figura 1* se observa la disminución de la concentración de SV (g/L) por cada tratamiento a medida que el volumen de metano (L) aumentaba. Se puede determinar que es una relación inversamente proporcional, debido a que los sólidos volátiles removidos representan la cantidad materia orgánica necesaria para producir metano.

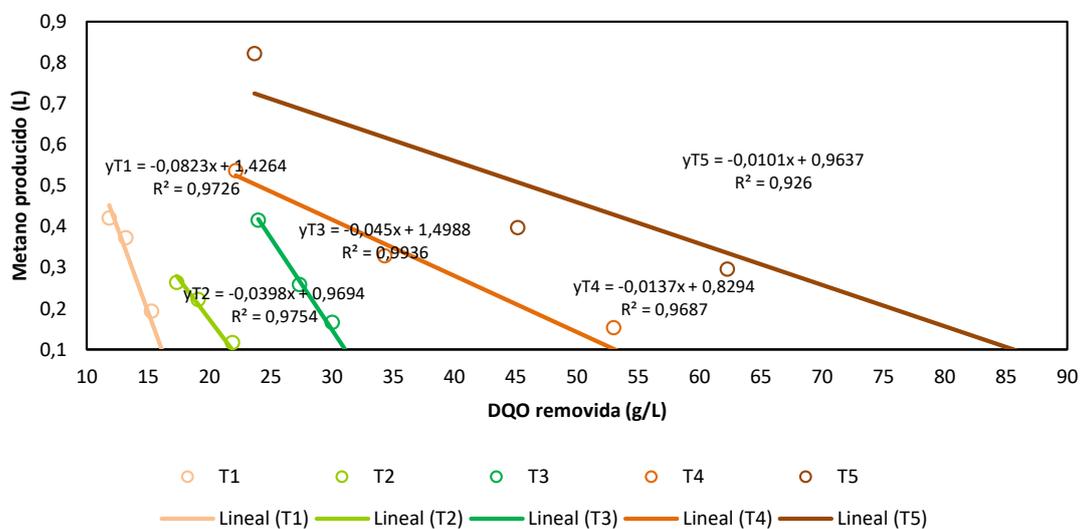
Figura 1. Variación de la producción SV (g/L) vs metano producido (L) durante el proceso de digestión anaerobia de la vinaza.



Fuente: Elaborada por los autores

En la *figura 2* se puede contrastar el aumento del volumen de metano (L) generado por tratamiento a medida que disminuye la cantidad de DQO (g/L). Se determina que la producción de metano acumulado es equivalente a la DQO que ha sido degradada por tratamiento aplicado, a partir de las condiciones iniciales (López, Borzacconi y Passeggi, 2017). De acuerdo con Sánchez *et al.* (2016), esto se debe a que tanto los SV, como la DQO, son proporcionales a la materia orgánica que puede ser convertida a biogás.

Figura 2. Variación de la producción SV (g/L) vs metano producido (L).



Fuente: Elaborada por los autores.

De acuerdo con Martínez (2005), el ajuste lineal por el método de R cuadrados en los cuatro gráficos presentados, determina que $0 < R^2 < 1$. Se considera que la relación entre las variables X y Y es lineal, en base a la información determinada del diseño experimental, y que este modelo es adecuado para describir la relación que existe entre estas variables.

Del T₁ se puede inferir que tenía un grado de contaminación menor que los demás tratamientos por poseer mayor dilución de agua. Se conoce que el T₅ posee vinaza concentrada, por lo que tiene mayor carga orgánica; ha tenido una notable disminución de su contenido tanto en SV y DQO, misma que es atribuida a la hidrólisis del residuo y a la liberación de ácidos durante la etapa acidogénica (Appels *et al.*, 2008).

Puede afirmarse que la vinaza puede ser tratada por reactores anaerobios, y que la biomasa puede aclimatarse y trabajar con sus niveles altos de concentración (López, Borzacconi y Passeggi, 2017).

Por otra parte, pese que el inóculo ha pasado por un proceso de adaptación, la dilución con agua que se aplicó en algunos de los tratamientos hace que disminuya la concentración de SV, lo que influye en el crecimiento de los microorganismos; por lo cual se considera una de las razones del menor aumento microbiológico (Mundhenke, Müller y Schwedes, 2001), así como de la producción de biogás y metano.

En los tratamientos se presentaron problemas operativos, pero no asociados al comportamiento del reactor, sino a la presencia de fugas u obstrucciones, además de posible inhibición. No está claro el factor clave de inhibición, pero el principal inconveniente para el tratamiento del agua residual está asociado al trabajar con vinaza cruda. Sin embargo, es recomendable trabajar con el agua residual de esta manera una vez adaptado el inóculo puesto que el uso del agua en reactores a gran escala trae

consecuencias importantes en los costos asociados al volumen del reactor y a la necesidad de contar con este recurso para dilución (Chernicharo, 2007; López, Borzacconi y Passeggi, 2017). Lo que sí debe resaltarse es la elección del agente neutralizante, pues en el presente trabajo se usó hidróxido de sodio, pero existen otros tipos de menor costo y fácil acceso.

Análisis de Varianza del Diseño Experimental

Se realizó el análisis de varianza, donde se pueden observar los resultados reportados entre las variables a medir. De cada tratamiento se determina que hay un efecto significativo sobre la producción de biogás y metano, debido a que el valor p es menor que 0,05, lo que representa que cada tratamiento influye de forma distinta respecto a otro ($T_1 \neq T_2 \neq T_3 \neq T_4 \neq T_5$), pues responde a un comportamiento condicionado en su operación inicial, esta interpretación concuerda con lo expuesto por los autores (Sanabria, Durán y Gutiérrez, 2012).

De acuerdo con la prueba de Tukey (HSD) se determina que el *tratamiento 5* (T_5) presenta los mejores resultados en cuanto a la producción de biogás y metano, y que el *tratamiento 4* también mostró resultados satisfactorios.

CONCLUSIONES

La caracterización de la vinaza presentó rangos típicos de su naturaleza, tiene un pH de 3.25; DQO de 41.6 g/L; SV de 19.18 g/L y posee un contenido de sulfatos notable de 273 mg/L, lo que significa un posible factor a influir en los tratamientos en cuanto la producción y calidad de biogás por la presencia de sulfuro de hidrógeno en su composición.

Se adaptó el inóculo con un porcentaje de producción de biogás de 81%, lo que determina una gran actividad microbiana.

El tratamiento óptimo de acuerdo al diseño experimental en base a su producción de biogás y metano fue el T_5 , el cual contenía niveles altos de concentración de vinaza, lo que influyó en que existiera una mayor actividad microbiana y mayor producción de biogás (2.9 L).

De acuerdo al análisis de varianza existe significancia entre cada tratamiento, lo que responde a un comportamiento de acuerdo a la condición de operación inicial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Public Health Association. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (22.^a ed.).
- Appels, L., Baeyens, J., Degreè, J. y Dewil, R. (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(6), 755-781. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2008.06.002>
- Aristizábal, C. (2015). Caracterización físico-química de una vinaza resultante de la producción de alcohol de una industria licorera, a partir del aprovechamiento de la caña de azúcar. *Ingenierías USBmed*, 6(2), 36-41. <https://doi.org/10.21500/20275846.1729>
- Bermúdez, R.C., Hoyos, J.A. y Rodríguez, S. (2000). Evaluación de la disminución de la carga contaminante de la vinaza de destilería por tratamiento anaerobio. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 16(3), 103-107. <https://cutt.ly/OySze8l>

- Camacho, R., Villada, H. y Hoyos, J. (2017). Evaluación del Estiércol de Vaca como Inóculo en la Digestión Anaerobia Termófila de Residuos Sólidos Urbanos. *Información tecnológica*, 28(3), 29-36. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000300004>
- Chernicharo, C. (2007). *Anaerobic reactors*. IWA Publ.
- Díaz, J., Fernández, M.T. y Paredes, F. (1997). *Aspectos básicos de bioquímica clínica*. Ediciones Díaz de Santos.
- Dormond, H., Rojas, A., Boschini, C., Mora, G. y Sibaja, G. (2011). Evaluación preliminar de la cáscara de banana maduro como material de ensilaje, en combinación con pasto King Grass (*Pennisetum purpureum*). *InterSedes*, 12(23), 17-31. <https://cutt.ly/DyDnFew>
- Galarza, M. y Gutiérrez, M. (2013). *Evaluación del potencial de biometanización en el lactosuero* [Tesis de grado, Universidad de San Buenaventura]. <https://cutt.ly/DySz3y4>
- Galindo, P. (2016). *Sistematización de la experiencia, producción de aceite de piñón para plan piloto de generación eléctrica en Galápagos* [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Ecuador] <http://repositorio.puce.edu.ec:80/xmlui/handle/22000/12495>
- Gavilanes, I. (2014). *Oportunidades y desafíos de la gestión de residuos orgánicos procedentes del sector agroindustrial en América del Sur: Provincia de Chimborazo (ECUADOR)* [Tesis de Maestría, Universidad Miguel Hernández de Elche]. <https://cutt.ly/gySxb6P>
- González, M.E., Pérez, S., Wong, A., Bello, R. y Yañez, G. (2015). Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia. *Revista Argentina de Microbiología*, 47(3), 229-235. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.05.003>
- Guevara, L (1999). *Caracterización y Digestión Anaeróbica de Vinazas Destiladas del Ecuador* [Tesis de Maestría, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <https://cutt.ly/myScuIq>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). Norma Técnica Ecuatoriana: Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras (NTE INEN 2169:2013). <https://cutt.ly/jySIhTG>
- López, I., Borzacconi, L. y Passeggi, M. (2017). Anaerobic treatment of sugar cane vinasse: treatability and real-scale operation. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 93(5), 1320-1327. <https://doi.org/10.1002/jctb.5493>
- Lorenzo, Y. y Obaya, C. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, XXXIX(1), 35-48. <https://cutt.ly/OyScKgp>
- Lorenzo, Y., Chanfón, J. y Pereda, I. (2013). Estudio de la digestión anaerobia mediante el ensayo de actividad metanogénica empleando vinazas con diferentes contenidos de sulfatos. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 47(1), 45-50. <https://cutt.ly/hySvfeP>
- Martínez, M. (2005). Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. *Anuario jurídico y económico escurialense*, (38), 315–331. <https://cutt.ly/dySvbRN>
- Moraes, B., Zaiat, M. y Bonomi, A. (2015). Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 888-903. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.023>

- Mundhenke, R., Müller, J. y Schwedes, J. (2001). Influence of the VS-Content in Digested Sludge on Anaerobic Degradation. *Chemical Engineering y Technology*, 24(6), 635-637. [https://doi.org/10.1002/1521-4125\(200106\)24:6<635::AID-CEAT635>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/1521-4125(200106)24:6<635::AID-CEAT635>3.0.CO;2-P)
- Pacheco, S. (2016). Construcción y evaluación de un digestor anaerobio para la producción de biogás a partir de residuos de alimentos y poda a escala banco [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <http://bdigital.unal.edu.co/51702/>
- Pérez, Y., Perez, O. y Zumalacárregui, L. (2017). Caracterización Química, Física Y Microbiológica De Dos Vinazas Cubanas. *Revista EIA*, 14(28), 29-43. <https://cutt.ly/QySvOVv>
- Rennola, L., Yépez, C., Bullón, J. y Salazar, F. (2007). Tratamiento de las aguas residuales de una destilería mediante el uso de coagulantes y membranas. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 30, 11-19. <https://cutt.ly/OySv6Fk>
- Salazar, M., Sánchez, M.A. y Aucatoma, B. (2009). Uso de cachaza descompuesta y porcentaje de sustitución de fertilizante químico en un lote del ingenio Valdez. *Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador*. <https://cutt.ly/mySbuou>
- Sanabria, J., Durán, M.F. y Gutiérrez, N. (2012). Comparación de dos métodos de medición de actividad Metanogénica específica en reactores anaerobios aplicados al tratamiento de Vinazas. *Ingeniería y Región*, 9, 75-82. <https://doi.org/10.25054/22161325.777>
- Sánchez, C., Patiño, M.E., Alcántara, J.L., Reyes-Ortega, Y., Pérez-Cruz, M.A. y Ortíz-Muñoz, E. (2016). Determinación del potencial bioquímico de metano (PBM) de residuos de frutas y verduras en hogares. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(2), 191-198. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.02.05>
- Torres, P. y Pérez, A. (2010). Actividad metanogénica específica: una herramienta de control y optimización de sistemas de tratamiento anaerobio de aguas residuales. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, (9), 5-14. <https://cutt.ly/GySbPKw>
- Valeiro, A., Portocarrero, R., Ullivarri, E. y Vallejo, J. (2017). Los residuos de la industria sucro-alcoholera argentina. Serie: Gestión de residuos de la industria sucro-energética argentina. Editorial INTA. <https://cutt.ly/5ySbMWP>
- Vásquez, N. C. y Riveros Jiménez, D.R. (2013). *Diseño y construcción de un prototipo biodigestor tipo mixto para la producción y almacenamiento de gas metano* [Tesis de grado, Universidad de San Buenaventura]. <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/72493.pdf>
- Viquez, J.A. (2010). Remoción del sulfuro de hidrógeno H₂S(g)/ácido sulfhídrico H₂S (aq) en el biogás. *ECAG informa*, 53, 16-20. <https://cutt.ly/oySTA6B>

GESTIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Efecto en la resistencia de bloques elaborados con agregados de residuos del cultivo de maíz (*Zea mays*).

Effect on the resistance blocks elaborated with corn cultivates wastes (*Zea mays*).

Carlos Ricardo Delgado Villafuerte¹,
Kayna Marilyn Hidalgo Zambrano, Carlos Andree
Villafuerte Vélez, Patricio Javier Noles Aguilar
y Enrique Richard

¹Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de
Manabí Manuel Félix López, Ecuador
car_delgado@hotmail.com

Recibido: 17/06/2019
Aceptado: 20/11/2019
Publicado: 27/12/2019

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como propósito evaluar el uso de los residuos del cultivo de maíz (*Zea mays*) como alternativa sostenible en la elaboración de bloques para la construcción. Para el desarrollo de la investigación experimental se aplicó una encuesta a los productores de maíz en la parroquia Boyacá, cantón Chone, con el fin de conocer el destino final de estos residuos. Los resultados de la encuesta ejecutada a los productores revelan que el 73% queman a cielo abierto los residuos de dicho cultivo después de cada periodo de cosecha; el 20% lo utilizan como alimento para el ganado; el 5% realizan ensilajes y el 2% lo reutilizan como abono para las plantas. Para la obtención de los bloques se establecieron tres tratamientos y un testigo, con diferentes dosificaciones de residuos del cultivo de maíz (tusa, tallo y hoja): T1 (25% - 1.25 kg); T2 (50% - 2.50 kg); T3 (75% - 3.75 kg) y testigo (100% - 5 kg). Luego se realizaron ensayos de resistencia a comprensión a los 7, 14, 21 y 28 días con el objetivo de compararlos con los bloques tradicionales. Finalmente, como resultado, se obtuvo que el T1 con 25% de residuos del cultivo de maíz presentó la mayor resistencia (43 kg/cm²) a los 28 días, lo cual permitió concluir que este bloque cumple con los parámetros de la norma NTE INEN 3066 (2016), clasificándolo como bloque para la construcción clase B. Conforme al análisis estadístico existen diferencias significativas entre cada uno de los tratamientos.

PALABRAS CLAVE: bloques, hoja, maíz, residuos, tallo, tusa.

ABSTRACT

The purpose of the present was to evaluate the use of corn cultivate wastes (*Zea mays*) as a sustainable alternative on making blocks. For the development of the experimental investigation, we applied a poll on corn producers of Boyacá, to know the final destination of the corn wastes. The results show that 73% of them burn the wastes at open sky, 20% use it to feed the cattle, 5% make silages and 2% use it as fertilizer. To make blocks we established three treatments and one witness, with different corn waste quantities. (Cob, steam and leaf): T1 (25% - 1.25 kg); T2 (50% - 2.50 kg); T3 (75% - 3.75 kg) and witness (100% - 5 kg). After that pressure resistance test were made at 7, 14, 21 and 28 days the result were compared with the traditional blocks. Finally, the results show that on the corn waste T1 at 25% had the higher resistance (43 kg/cm²) at the end of the day 28, which fulfill the NTE INEN 3066 (2016) standards for a class B block for construction. On the statistical analysis there are remarkable differences between treatments.

KEYWORDS: blocks, corn, cob, leaf, steam, waste.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la quema de residuos agrícolas, como son los subproductos de maíz, ha sido uno de los mayores problemas que causan degradación ambiental por las emisiones que esta genera, tales como dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), material particulado o partículas de materia suspendidas (PM). A esto se suman los procesos de erosión que constituyen el agente principal de la contaminación de suelos, debido al deterioro progresivo de los nutrientes y la materia orgánica; componentes esenciales para mantener su productividad (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2014).

En el Ecuador se genera una cantidad de biomasa residual del cultivo del maíz que corresponde a 434 921.32 toneladas al año, con una producción total de 237 146.92 toneladas anuales (Instituto Nacional de Preinversión, 2014). La técnica utilizada para ellos consiste en la tumba, roza, y quema de los mismos, lo cual produce un aceleramiento en la destrucción del suelo, la fauna, el agua y los bosques. El rendimiento nacional del cultivo de maíz duro seco (13% de humedad y 1% de impureza) para el ciclo de invierno del 2017 fue de 5.51 toneladas por hectárea (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2017).

Según Domínguez y Loor (2018) en la provincia Manabí se produce más del 70% de cultivo de maíz, generando 52 145.18 toneladas al año de residuos; esto se ha convertido en fuente de contaminación al quemarse la tusa a cielo abierto, pues no representa valor alguno para los agricultores, lo cual genera un problema ambiental. El cultivo del maíz produce una gran cantidad de biomasa, de ella el hombre cosecha apenas cerca del 50% en forma de grano. El resto corresponde a diversas estructuras de la planta, tales como caña, hoja y mazorca entre otros (Velázquez *et al.*, 2002). La *Constitución de la República del Ecuador* (2008) establece en su Artículo 15 que: «El estado promoverá el uso de tecnologías ambientalmente limpias, no contaminantes y de bajo impacto en el sector público y privado» (p. 37).

En este trabajo se pretende crear un nuevo concepto de construcción que contengan características sostenibles amigables con el Medio ambiente y, a su vez, contengan soluciones socialmente equitativas, económicamente viables y ambientalmente seguras. Por tal razón, su finalidad es transformar los residuos en un sistema constructivo-ecológico en la elaboración de bloques para la construcción, aprovechando los residuos del maíz (tusa, tallos y hojas) como una alternativa sostenible que podría sustituir al bloque común. El objetivo que persiguió la investigación fue evaluar el uso de los residuos del cultivo de maíz (*Zea mays*) como alternativa sostenible en la elaboración de bloques para la construcción.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en la parroquia Boyacá, ubicada en el cantón Chone, provincia Manabí. La misma está situada geográficamente entre las coordenadas 0°34'09" latitud Sur; 80°10'38.15" longitud Oeste. Se aplicó el método experimental que permitió la manipulación de los elementos que son de requerimiento para obtener el mejor prototipo; para esto se necesitó una secuencia de las pruebas mecánicas entre las que se pueden mencionar la resistencia a la compresión de los bloques para la construcción, los cuales tienen que cumplir con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN: 3066 del Instituto Ecuatoriano de Normalización (2016).

Se emplearon encuestas para determinar la cantidad de residuos que genera el cultivo de maíz y el destino final de los mismos. El factor de estudio fue la cantidad de residuos del cultivo de maíz (tusa, tallo y hoja) que se agregó en la fabricación de los bloques para la construcción; los residuos del cultivo de maíz fueron triturados tal y como lo menciona Faustino *et al.*, (2015). Esta investigación fue de carácter experimental y estuvo sujeta a un *diseño completamente al azar* (DCA) en arreglo unifactorial:

Tabla 1. Combinaciones de los niveles.

Tratamientos	Cemento (kg) A	Arena (kg) B	Unidad experimental	Granulado volcánico		Residuos	
				%	kg	%	kg
T ₁	1.25	1.22	A ₁ B ₁	75	3.75	25	1.25
T ₂	1.25	1.22	A ₁ B ₂	50	2.5	50	2.5
T ₃	1.25	1.22	A ₁ B ₃	25	1.25	75	3.75
TESTIGO	1.25	1.22	TESTIGO	100	5	0	0

Fuente: *Elaboración propia.*

Para la ejecución del trabajo de investigación se desarrollaron las siguientes fases:

Fase 1. Estimar cantidad de residuos del cultivo de maíz que se generan en cada cosecha.

Se aplicó una encuesta a los productores de residuos del cultivo de maíz (*Zea mays*) en la parroquia Boyacá, cantón Chone, con el fin de conocer el volumen que generan y cuál es el destino final de los mismos.

Fase 2. Elaborar bloques para la construcción utilizando residuos del cultivo de maíz.

La materia prima fue obtenida de los agricultores de maíz de la parroquia Boyacá del cantón Chone; la tusa, hojas y tallo de maíz en estado seco fueron trituradas por separadas en un triturador mecánico. Luego se procedió a la elaboración de los bloques aplicando cada una de las unidades experimentales, para la construcción se mezclaron los agregados en una mezcladora especial de concreto y el moldeado en una maquinaria vibro-compactación.

Fase 3. Determinar el tratamiento que presenta la mayor resistencia a compresión de los bloques para la construcción elaborados con residuos de cultivo de maíz.

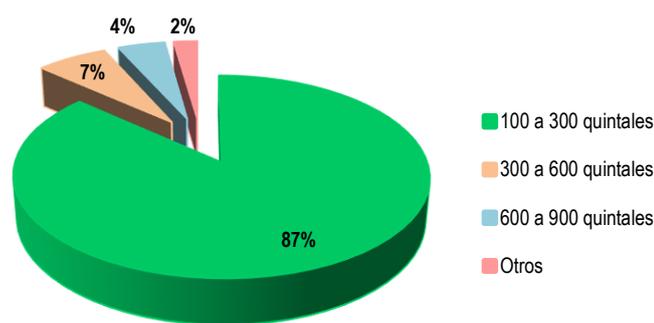
Para la prueba de resistencia se tomaron tres unidades de cada muestra, los mismos fueron llevados al Laboratorio de Mecánica de Suelos Orlando Mora, en la ciudad de Portoviejo, para realizar las pruebas de resistencia de compresión. Luego se procedió a la comparación entre los bloques tradicionales y los bloques para la construcción elaborados con residuos del cultivo de maíz (tusa, tallo y hojas).

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Fase 1. Estimar cantidad de residuos del cultivo de maíz que se generan en cada cosecha.

Se realizaron encuestas de tipo cerrada a los productores del cultivo de maíz (*Zea mays*) en la parroquia Boyacá del cantón Chone. El propósito fue establecer la información, estimar la cantidad que generan y saber el destino final de residuos en cada cosecha. Para el cálculo de la muestra se tomó como referencia un estudio realizado por Saldarriaga (2017) en el que menciona que la parroquia cuenta con cuarenta y cinco familias productoras, y en base a ello se realizó la encuesta a todas ellas.

Figura 1. Cantidad de cada uno de estos residuos que se generan en cada cosecha.

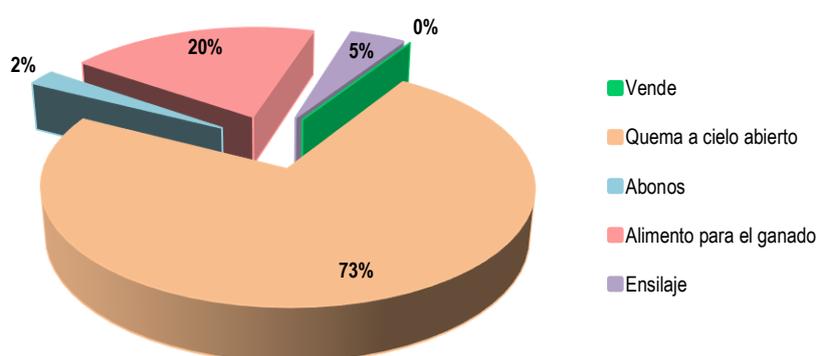


Fuente: Elaboración propia.

En la *figura 1* se expone que el 87% (39 agricultores) de los productos generan aproximadamente de 100 a 300 quintales de residuos del cultivo de maíz; el 7% de 300 a 600 quintales; el 4% de 600 a 900 quintales y el 2% (un agricultor) genera más de 1 000 quintales de residuos. Reyes, Camacho y Guevara (2013) afirman que se ha incrementado la cantidad de rastrojos por el aumento de la productividad, haciéndose más complejo el manejo del mismo, en especial el cultivo de maíz, puesto que son los que más residuos dejan sobre la superficie del suelo y son de difícil degradación.

En la *figura 2* se puede observar que el 73% (33 agricultores) de los productores del cultivo de maíz queman a cielo abierto los residuos después de cada cosecha; esto se debe a que el maíz posee tallos de lenta descomposición, lo cual ocasiona que se retrasen las fechas de siembra y que los agricultores optan por el medio más practicable la quema; el 20% (nueve agricultores) lo usan como alimento para el ganado, el 5% (cuatro agricultores) realizan ensilaje, mientras que el 2% (un agricultor) lo reutilizan como abonos para las plantas.

Figura 2. Uso que le dan a estos residuos.



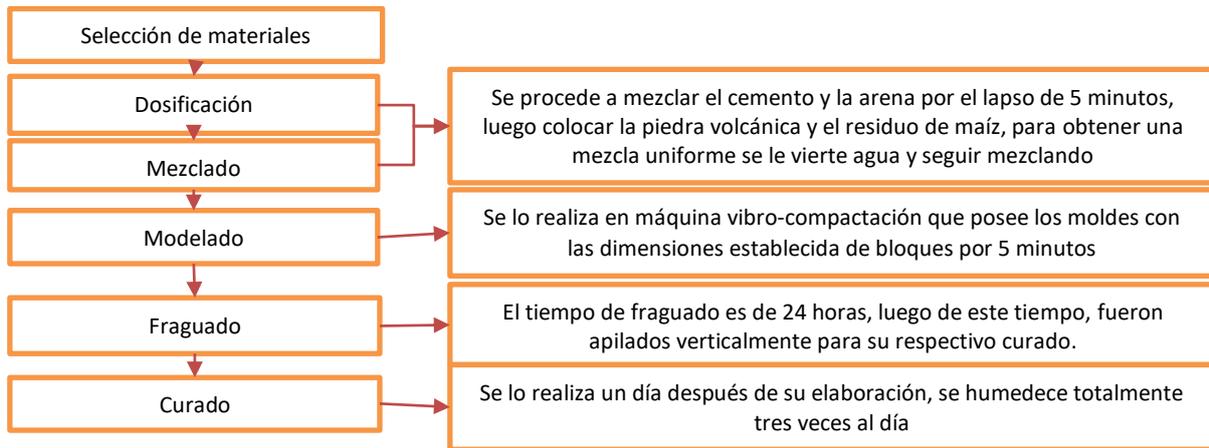
Fuente: Elaboración propia.

Fase 2. Elaborar bloques para la construcción utilizando como agregado residuos del cultivo de maíz.

Chicaiza (2017) menciona que la tusa de maíz al ser una fibra vegetal debe ser curada para su preservación. Para el desarrollo de este tratamiento se siguió el procedimiento del Manual de Construcción con Bambú (Hidalgo, 2003) en el que se menciona que la materia prima debe estar completamente seca, por cada 100 L de agua se utilizó 2.5 kg de ácido bórico; los residuos del cultivo de maíz se dejaron sumergidos en el tratamiento químico por un lapso de 24 horas, luego se dejó escurrir el agua y se secó al ambiente. Posteriormente se procedió a la trituration mecánica de los

residuos de maíz y pasarlos por una zaranda para separar el triturado más fino como subproducto para elaborar los bloques, según la siguiente figura:

Figura 3. Diagrama de elaboración de los bloques con residuos del cultivo del maíz.

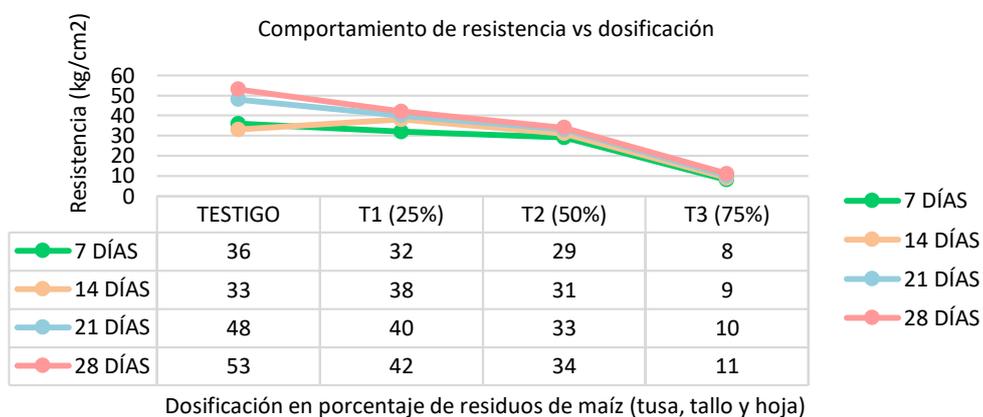


Fuente: Elaboración propia.

Fase 3. Determinar el tratamiento que presenta la mayor resistencia a compresión de los bloques para la construcción elaborados con residuos de cultivo de maíz.

Los bloques para la construcción fueron colocados en la máquina, la misma contiene una placa metálica como base y otra placa superior que se ubica sobre el bloque para que reciba una carga uniforme; luego se aplicó presión hasta llegar a la ruptura de estos. Las pruebas se realizaron a los 7, 14, 21 y 28 días de su elaboración, siguiendo el procedimiento establecido en la NTE INEN: 3066; para el desarrollo de los ensayos se usaron tres bloques con cada uno de los tratamientos (25%, 50%, 75%).

Figura 4. Carga de rotura kg/cm^2 de los bloques para la construcción en función del tiempo.



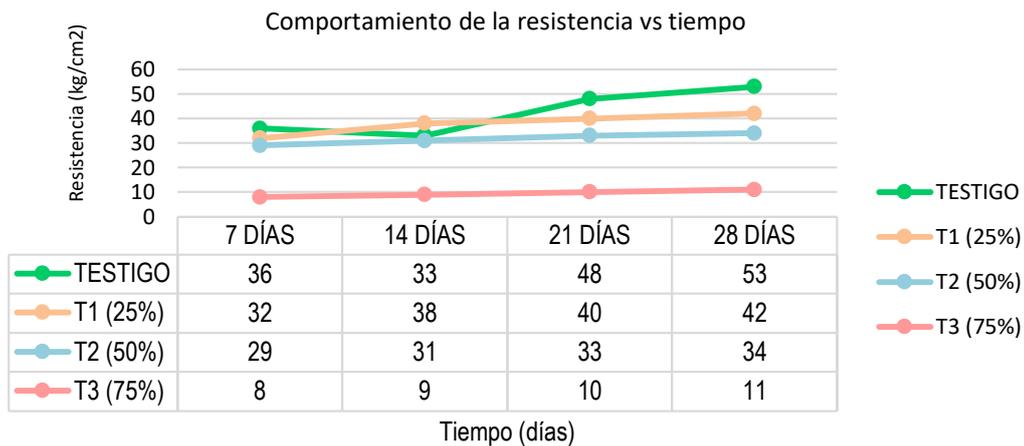
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4 se muestran los resultados de las pruebas de resistencia para las dosificaciones de residuos del cultivo de maíz, que indica que la tendencia es de disminución; esto quiere decir que entre más residuos menos resistencia. La mayor resistencia registrada es del bloque para la construcción con el 25% (T_1) de residuos del cultivo de maíz a los 28 días con $42 \text{ kg}/\text{cm}^2$; seguida por la dosificación del 50% (T_2) con una resistencia de $34 \text{ kg}/\text{cm}^2$; valores que se acercan al bloque tradicional y la menor resistencia fue para el con el 75% (T_3) de residuos de maíz con $11 \text{ kg}/\text{cm}^2$.

De acuerdo con la norma NTE INEN: 3066, el *tratamiento 1* es un bloque clase B, pues obtuvo una resistencia promedio superior a 40.8 kg/cm², el cual puede ser utilizado para paredes exteriores de carga con revestimiento y para paredes interiores de carga con o sin revestimiento; el *tratamiento 2* es un bloque clase C que se usa para paredes interiores de carga sin revestimiento y el *tratamiento 3* no cumple con la resistencia mínima a la compresión simple.

Poon, Kou y Lam (2002) afirman que la adición de material granulado vegetal en la mezcla de hormigón causa una pérdida de resistencia a la compresión en bloques de dicha composición, no tan significativa que impida el uso de este material, con la restricción de que se deben considerar adiciones inferiores a un 50% de agregado vegetal en la mezcla para evitar problemas de resistencia.

Figura 5. Comportamiento de resistencia vs tiempo.



Fuente: *Elaboración propia.*

En la *figura 5* se muestra el comportamiento de la resistencia a la compresión con respecto al tiempo (7, 14, 21 y 28 días), en el cual se puede verificar el aumento de la resistencia a medida que pasan los días. Excepto para el bloque tradicional (testigo) a los 14 días, donde se puede observar una disminución de la resistencia, esto se debió a que en las primeras 14 jornadas los bloques tradicionales estuvieron expuestos al sol, lo cual provocó un secado prematuro. Valdés y Rapimán (2007) expresan que los bloques de construcción compuestos por residuos vegetales muestran un menor peso por unidad que los bloques tradicionales utilizados para ese fin. Esos valores se deben principalmente a que los residuos vegetales tienen densidades inferiores respecto a los materiales utilizados.

Comparando la resistencia a la compresión del bloque tradicional y del material compuesto de residuos de maíz adicionado, se pudo considerar que el 25% del material compuesto con fibras de residuos del cultivo de maíz presenta un aumento considerable en la resistencia, lo que indica que la fibra de residuos de maíz tiene un gran aporte a la resistencia de compresión al tener similitudes con la resistencia de los bloques tradicionales. Sin embargo, es necesario que se lleven a cabo ensayos adicionales para los bloques para la construcción del 25% de dosificación con residuos del maíz, en virtud de poder disminuir la variabilidad de los elementos comunes que se utilizan en la mezcla en comparación con los bloques tradicionales (Estrella, 2016).

Análisis estadístico de la resistencia de compresión de los bloques a los 28 días.

Tabla 2. Resultados de porcentajes de resistencia a los 28 días de su elaboración.

TRATAMIENTO	R1	R2	R3	PROMEDIO
T ₁	121	116	113	117
T ₂	92	92	103	96
T ₃	31	31	30	31

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. ANOVA de porcentajes de resistencia a los 28 días de su elaboración.

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	Gl	Sc	Cm	Fc	P valor
Tratamientos	2	12 062	6 031	317	<0.0001
Error experimental	6	114	19		
Total	8	12 176			

Fuente: Elaboración propia.

Basados en los resultados obtenidos después de medir la resistencia a la compresión a los 28 días de su elaboración, en las muestras de bloques los valores reportados en los promedios de porcentajes de resistencia (R) por tratamiento son los siguientes: (T₁) R = 117; (T₂) R = 96; (T₃) R = 31; se determinó estadísticamente que los tratamientos sí presentan diferencias significativas entre sí, es decir, hay homogeneidad entre ellos a un nivel de confianza del 95%, tomando en cuenta que el valor de P fue de 0.000; por lo tanto, es un valor demasiado menor a 0.05, lo cual indica que sí existe una diferencia significativa entre la media de los porcentajes de resistencias entre los tratamientos.

Tabla 4. TUKEY.

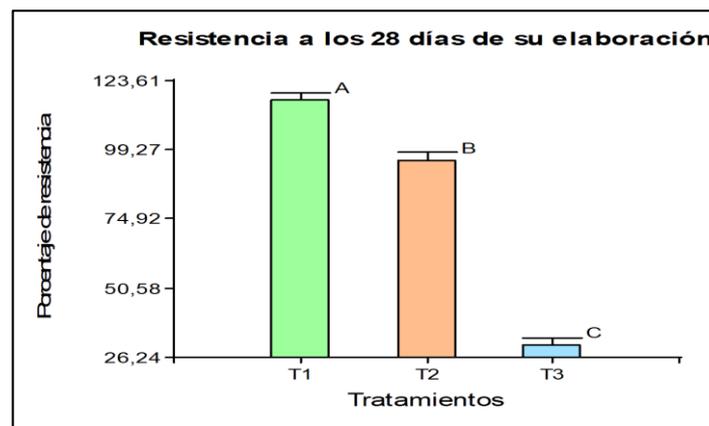
Test: Tukey Alfa=0.05						
Error: 19.0000 gl:6						
Tratamientos	Medias	n	E.E.	Agrupación		
T1	117	3	3	A		
T2	96	3	3		B	
T3	31	3	3			C

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en la *tabla 4* muestran que la prueba de *Tukey* determinó estadísticamente que los tratamientos sí presentan diferencias significativas entre sí, sin embargo, se verificó que existe diferencia altamente significativa entre tratamientos.

Los resultados expuestos en la *figura 6* muestran los valores medios de cada tratamiento de los promedio de porcentaje de resistencia a la compresión de los bloques para la construcción con residuos de maíz, esto quiere decir que el valor medio con mayor eficiencia se obtuvo a los 28 días de su elaboración y fue el tratamiento T_1 ; el tratamiento T_2 se encuentra en los valores que están en la media y el valor con menor eficiencia fue el tratamiento T_3 . Ello muestra que los bloques para la construcción con residuos del cultivo de maíz a los 28 días de su elaboración tienen una relación inversa: A menor concentración de residuos de maíz añadido en la mezcla, mayor resistencia; lo cual quiere decir que los residuos del cultivo de maíz son elementos adicionales a los demás elementos del bloque y que al utilizar la fuerza de rotura los residuos generan la ventaja de resistir una fuerza de compresión al estar mezclado con el cemento y los agregados finos (Almeida, 2011).

Figura 6. Resultados de porcentajes de resistencia a los 28 días de su elaboración.



Fuente: *Elaboración propia.*

Por lo tanto, se concluye que los residuos del cultivo de maíz al incluirse junto a los demás elementos del bloque, debido a sus características y propiedades, ayudan a mejorar la resistencia en conjunto, pero con menor volumen, pues los residuos de maíz favorecen en un porcentaje a la mejora de las características del bloque; lo que no ocurre que al aumentar el porcentaje de los residuos estos ocupan el lugar del agregado volcánico, pues forman parte de la mezcla normal de los bloques.

CONCLUSIONES

En la encuesta realizada a los agricultores del cultivo de maíz de la parroquia Boyacá, cantón Chone, el 73% (33 agricultores) de los productores queman a cielo abierto los residuos después de cada cosecha.

Se elaboraron 48 bloques para la construcción, dentro de los cuales se incluyen 36 bloques con residuos del cultivo de maíz (tusa, tallo y hoja) y 12 bloques tradicionales, los cuales fueron sometidos a pruebas de resistencia mecánica. Se establecieron tres tratamientos con diferentes dosificaciones (25%, 50% y 75% de tusa, tallo y hoja) y un testigo, los que fueron sometidos a pruebas de resistencia con respecto al tiempo (7, 14, 21 y 28 días después de su elaboración).

La realización de pruebas mecánicas determinó que el T_1 (25%) y el T_2 (50%) se encuentran dentro de los parámetros dispuestos en la norma NTE INEN: 3066 (2016), pues se obtuvieron una resistencia promedio superior de 17.34 kg/cm^2 y el T_3 (75%) no cumple con la resistencia mínima a la compresión simple.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, N. (2011). *Utilización de fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de bloques de mampostería para mitigar el impacto ambiental en el cantón Ambato* [Tesis de diploma, Universidad Técnica de Ambato]. <https://cutt.ly/IyDvtRa>
- Comisión para la Cooperación Ambiental. (2014). *La quema de residuos agrícolas: fuentes de dioxinas*. <https://cutt.ly/HySKLIH>
- Chicaiza, V. (2017). *Análisis comparativo de la resistencia a compresión entre bloques tradicionales y bloques elaborados con poliestireno expandido granular y bloques elaborados con tusa de maíz triturado como sustituto parcial del agregado grueso* [Tesis de diploma, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/26499>
- Estrella, S. (2016). *Estudio de un material compuesto a base de fibras naturales de cabuya para mejorar las propiedades mecánicas de elementos de concreto reforzado* [Tesis de diploma. Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/3072>
- Faustino, J., Silva, E., Pinto, J., Soarea, E., Cunha, V. y Soares, S. (2015). Unidades de albañilería de concreto ligeros basadas en granulado procesado de maíz de maíz como agregado. *Revista Latinoamericana de Química*, 65(318), 1-8.
- Hidalgo, O. (2003). *Manual de Construcción con Bambú*. Universidad Nacional de Colombia.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2017). *Rendimientos de maíz duro seco en invierno 2017*. <https://cutt.ly/hySLxp1>
- Dominguez, S. y Loor, K. (2018). Uso de los residuos del cultivo de maíz (*zea mays*), como alternativa sostenible para la elaboración de bloques, parroquia Boyacá [Tesis de diploma, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <https://cutt.ly/kyDvi1H>
- Instituto Nacional de Preinversión. (2014). *Atlas Bioenergético del Ecuador*. <https://n9.cl/dold>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2016). Norma Técnica Ecuatoriana: *Bloques de hormigón: Requisitos y métodos de ensayo* [NTE INEN: 3066.] <https://cutt.ly/cySXsrl>
- Poon, C., Kou, S. y Lam, L. (2002). Uso de agregados reciclados en ladrillos y bloques de concreto moldeado. *Revista Construcción y Materiales de Construcción*, 16 (5), 281-289.
- Constitución de la República de Ecuador [Const]. Artículo 15. Registro Oficial 449 de 20 de octubre de 2008. https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- Reyes, L; Camacho, T. y Guevara, F. (Coord.). (2013). *Rastrojos: manejo, uso y mercado en el Centro y Sur de México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Número (7). <https://cutt.ly/IySXgMJ>
- Saldarriaga, F. (2017). *Plan de negocio para la creación de un centro de acopio de cacao y maíz en el sitio La Victoria de la parroquia de Boyacá canton Chone provincia de Manabí* [Tesis de diploma, Universidad de las Américas]. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/6625>
- Valdés, G. y Rapimán, J. (2007). Propiedades Físicas y Mecánicas de Bloques de Hormigón Compuestos con Áridos Reciclados. *Información Tecnológica*, 18(3), 81-88. <https://cutt.ly/6ySXzMr>

Velázquez, G., Salinas, G., Potter, K., Gallardo, M., Caballero, H. y Díaz, P. (2002). Cantidad, Cobertura y Descomposición de residuos de maíz sobre el suelo. *Terra Latinoamericana*, 20(2), 171-182. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57320210.pdf>