
**REVISTA DE INVESTIGACIÓN
AGRARIA Y AMBIENTAL**

Volumen 10 Número 1 – (Enero - junio de 2019)

ISSN 2145-6097

Revista de Investigación Agraria y Ambiental

Volumen 10 Número 1 – (Enero - junio de 2019) – ISSN 2145-6097

CUERPO DIRECTIVO

JAI ME ALBERTO LEAL AFANADOR

Rector UNAD

CONSTANZA ABADÍA GARCÍA

Vicerrector Académica y de Investigación

LEONARDO YUNDA PERLAZA

Vicerrector de Medios y Mediaciones Pedagógicas

LEONARDO EMELETH SANCHEZ TORRES

Vicerrector de Desarrollo Regional y Proyección Comunitaria

EDGAR GUILLERMO RODRÍGUEZ

Vicerrector de Servicios a Aspirantes, Estudiantes y Egresados

LUIGI HUMBERTO LÓPEZ GUZMÁN

Vicerrector de Relaciones Internacionales

JULIALBA ÁNGEL OSORIO

Decana Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

JENNY FABIOLA HERNÁNDEZ

Líder Nacional de Investigación UNAD

YOLVI PRADA

Líder Nacional de Investigación Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

GLORIA MARÍA DORIA H.

Director Editor

COMITÉ EDITORIAL

FLÁVIO VIEIRA MEIRELLES

Médico Veterinario, Ph.D.

Universidad de São Paulo

BEATRIZ EUGENIA CID AGUAYO

Socióloga, M.Sc. y Ph.D. en Sociología

Universidad de Concepción, Chile

OSCAR EMERSON ZUÑIGA MOSQUERA

Ingeniero Agrónomo, Mestro em andamento em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Universidade Federal de Pernambuco UFPE, Brasil

OSCAR EDUARDO SANCLEMENTE REYES

Ingeniero Ambiental, M.Sc., Ph.D. en Agroecología

Universidad Nacional de Colombia

ROLANDO TITO BACCA IBARRA

Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Ph.D. en Entomología

Universidad de Nariño

COMITÉ CIENTÍFICO

HERNÁN JAIR ANDRADE CASTAÑEDA

Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Ph.D.

Universidad del Tolima

ALVEIRO SALAMANCA JIMÉNEZ

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

University of California, Davis

ELI SABETE FIGUEIREDO

Socióloga, Ph.D. en Environmental Sciences

University of Aveiro

HENRY ZUÑIGA

Ingeniero Químico, PhD en Ingeniería Ambiental

Docente Facultad de Ingeniería Tecnológica de Antioquia

ANDRES POSSO-TERRANOVA

Evolutionary biology MSc. PhD.

Lecturer-Postdoctoral Fellow

Seed and Developmental Biology

University of Saskatchewan

Corrector de estilo

Eliana Arias Loaiza

Diseño de la portada

Andrea Díaz Escobar

Diseñadora Gráfica / Industrial

<http://andreadiazescobar.weebly.com/>

Impresión

PICTOGRAMA S.A.S.

INFORMACIÓN, CORRESPONDENCIA, SUSCRIPCIONES Y CANJE

REVISTA DE INVESTIGACIÓN AGRARIA Y AMBIENTAL

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias
y del Medio Ambiente

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Calle 14 Sur N. 14-23 Bogotá, Colombia

Teléfonos: (571) 344 3700 ext. 1529

e-mail: riaa@unad.edu.co

La revista puede consultarse
en su versión electrónica en:

<http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/index>

PRESENTACIÓN

La Revista de Investigación Agraria y Ambiental (RIAA) es un proyecto editorial de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), que surge en el año 2009 con el fin de comunicar los resultados de investigaciones originales en el área agraria y ambiental realizadas por personas, grupos o instituciones tanto nacionales como internacionales. Con el fin de mantener y afianzar la confianza entre investigadores y público interesado en las temáticas de RIAA, la revista busca su inclusión en prestigiosas bases de datos y sistemas de indexación tanto nacionales como internacionales.

Misión

La misión de RIAA es fomentar la comunicación y colaboración entre investigadores nacionales e internacionales a través de la divulgación y transferencia de conocimiento relacionado con las ciencias agrarias y del medio ambiente, con el fin de fortalecer la generación de nuevo conocimiento.

Público al que se dirige

La Revista de Investigación Agraria y Ambiental (RIAA) es una publicación oficial de la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA) de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), destinada a publicar artículos resultantes de las investigaciones originales en el área agraria y ambiental y en las áreas de conocimiento afines, en temas relacionados con los avances en producción animal, agricultura y uso sostenible de los recursos naturales. Como ejemplos de áreas afines citamos, entre otras, ética, ecología, sociología, geografía, historia, derecho, educación y economía, cuando se ocupan de perspectivas del desarrollo, de estilos de agricultura, de historia agraria, de desarrollo sustentable, de bioética y ética ambiental, de educación ambiental y extensión rural, de política agraria y ambiental, de legislación ambiental, forestal y agraria o de contribuciones significativas e innovadoras con visión sistémica, interdisciplinaria y/o transdisciplinaria. La publicación circula en formato impreso y en forma electrónica con acceso libre.

Periodicidad

RIAA es una publicación semestral (enero-junio y julio-diciembre).

CESIÓN DE DERECHOS

RIAA, al momento de recibir la postulación de un manuscrito por parte de su autor, ya sea a través de correo electrónico o postal, considera que puede publicarse en formatos físicos y/o electrónicos y facilitar su inclusión en bases de datos, hemerotecas y demás procesos de indexación.

Se autoriza la reproducción y citación del material de la revista, siempre y cuando se indique de manera explícita el nombre de la revista, los autores, el título del artículo, volumen, número y páginas.

Las ideas y conceptos expresados en los artículos son responsabilidad de los autores y en ningún caso reflejan las políticas institucionales de la UNAD.

INDEXACIONES

La Revista de Investigación Agraria y Ambiental es indexada en las siguientes bases de datos especializadas.



La Base Bibliográfica Nacional - BBN **Publindex**, que hace parte del Sistema Nacional de Indexación y Homologación, es dirigida por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, Colciencias. Está constituida por la información integrada por las revistas especializadas de CT+I sobre su producción, donde se hace visible para consulta en línea la información bibliográfica recolectada de los documentos hasta el nivel de resumen.



CABI es una organización intergubernamental sin fines de lucro, que proporciona información y servicios de carácter científico en el mundo desarrollado y en desarrollo.

CAB Abstracts: es una base de datos que ayuda a documentar la literatura publicada en el mundo, en: agricultura, medio ambiente, ciencias veterinarias, ciencias vegetales, micología y parasitología, economía aplicada, ciencias de la alimentación, salud humana, nutrición y temas relacionados.

Repositorio de Texto Completo de CABI: garantiza que los artículos estén disponibles y sean fácilmente localizados por científicos y profesionales a nivel mundial.



EBSCO ofrece un repositorio de: documentos, audio libros, libros digitales y bases de datos que cubren diferentes áreas, niveles de investigación e instituciones: escuelas, bibliotecas públicas, universidades, entidades de salud, corporaciones y agencias gubernamentales.

ENVIRONMENT INDEX: Base de datos especializada; información en temáticas relacionadas con: agricultura, ciencias del mar y agua dulce, ecología de ecosistemas, geografía, energía, fuentes renovables de energía, recursos naturales, contaminación y gestión de residuos, tecnología ambiental, legislación ambiental, políticas públicas, planificación urbana e impactos sociales.

FUENTE ACADEMICA PREMIER: Esta base de datos proporciona una colección de revistas científicas de América Latina, Portugal y España; cubre todas las áreas temáticas con especial énfasis en agricultura, ciencias biológicas, economía, historia, derecho, literatura, filosofía, psicología, administración pública, religión y sociología.

INDEXACIONES



ACADEMIC SEARCH COMPLETE ofrece una gran colección de revistas académicas multidisciplinarias en texto completo, proporcionando a los usuarios acceso a información crítica de muchas fuentes únicas. Además, incluye texto completo revisado por pares. El contenido académico cubre una amplia gama de importantes áreas incluyendo antropología, ingeniería, derecho, ciencias y muchas más.



REDIB (RED IBEROAMERICANA DE INNOVACIÓN Y CONOCIMIENTO CIENTÍFICO) es una plataforma para la agregación de contenidos científicos y académicos en formato electrónico en el espacio Iberoamericano. REDIB proporciona acceso y facilita la difusión y ejecución del trabajo científico. Los destinatarios de esta información son tanto la comunidad académica y sociedad en general, así como los responsables de la política científica y aquellos encargados de ponerla en práctica y analizarla.



PERIÓDICA es una base de datos bibliográfica creada en 1978 en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). La base de datos se actualiza diariamente y más de 10 mil registros son agregados cada año.

Ofrece alrededor de 336 mil registros bibliográficos de artículos originales, informes técnicos, estudios de caso, estadísticas y otros documentos publicados en cerca de 1 500 revistas de América Latina y el Caribe, especializadas en ciencia y tecnología.



Dialnet es una base de datos de acceso libre, creada por la Universidad de La Rioja (España), que difunde producción científica hispana.

INDEXACIONES

ProQuest conserva amplia y variada información, tanto de archivos históricos, como de los avances científicos actuales y maneja tecnologías digitales que optimizan la búsqueda, intercambio y gestión de la información. ProQuest proporciona servicios en el ámbito académico, empresarial, gubernamental, bibliotecas escolares y públicas, así como servicios a los investigadores profesionales, que les permiten la adquisición estratégica, gestión y búsqueda de colecciones de información.

Actualmente RIAA es visible en las bases de datos: ProQuest Agricultural Science Collection, ProQuest SciTech Collection y ProQuest Natural Science Collection.



ProQuest Agricultural Science Collection: Proporciona una amplia cobertura de todos los temas de agricultura y es apoyada por la Biblioteca Agrícola Nacional de EE.UU. La interfaz aporta características avanzadas y herramientas que permiten a los investigadores más precisión en las revisiones de literatura especializada y adaptada a su área del estudio.

ProQuest SciTech Collection: Combina una serie de bases de datos especializadas en Ciencias Naturales, Tecnología e Ingeniería en una interfaz dinámica que permite acceso a texto completo mediante una búsqueda integral a través de amplios resúmenes gestionados por equipos editoriales de expertos.

ProQuest Natural Science Collection: Proporciona una vasta cobertura de literatura en el ámbito de: Agricultura, Biología, Geología, Ciencias de la Tierra y Ciencias Ambientales. Ofrece acceso a texto completo de fuentes que incluyen: publicaciones académicas, revistas profesionales, informes, libros, actas de conferencias y material de relevancia.



Latindex es un sistema de Información sobre las revistas de investigación científica, técnico-profesionales y de divulgación científica y cultural que se editan en los países de América Latina, el Caribe, España y Portugal. La idea de creación de Latindex surgió en 1995 en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y se convirtió en una red de cooperación regional a partir de 1997.



La Plataforma Open Access de Revistas Científicas Electrónicas Españolas y Latinoamericanas **e-Revistas**, es un proyecto impulsado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) con el fin de contribuir a la difusión y visibilidad de las revistas científicas publicadas en América Latina, Caribe, España y Portugal.

INDEXACIONES



OCLC (Online Computer Library Centre) es una cooperativa de 72,035 bibliotecas de 171 países con el doble objetivo de mejorar el acceso a la información y reducir el costo de las bibliotecas. El CRAI de la URV se unió a OCLC en mayo de 2014 cooperando con Worldcat Local. Más de 1.4 millones de artículos con acceso de un clic al texto completo (cuando los recursos están suscritos por la URV o son de acceso abierto) o las referencias bibliográficas que permiten ubicar u ordenar el artículo a través del servicio de préstamo interbibliotecario. Además más de 40 millones de elementos digitales de fuentes confiables como Google Books y archivadores y repositorios digitales líderes como OAIster, ArchiveGrid y HathiTrust y con más de 25 millones de libros en bibliotecas de todo el mundo.



Directory of Open Access Journals (DOAJ) lista revistas de acceso libre, científicas y académicas, que cumplan con estándares de alta calidad al utilizar la revisión por pares o control de calidad editorial y que sean gratuitas para todos al momento de su publicación, sobre la base de la definición de acceso libre adoptada en la Budapest Open Access Initiative (BOAI).¹² El objetivo del DOAJ es "incrementar la visibilidad y facilitar el uso de revistas científicas y académicas de acceso libre, de manera que se promueve su mayor uso e impacto. Debido a que el acceso libre es un fenómeno mundial, el DOAJ incluye publicaciones de todo el mundo en muchos idiomas. Es posible navegar por las revistas o buscar por artículos en el interior de muchas revistas, por medio de una interfaz. En mayo de 2009, la base de datos bibliográfica contenía 4.177 revistas, de las cuales 1.531 estaban catalogadas a nivel de artículo.



BASE es uno de los motores de búsqueda más voluminosos del mundo, especialmente para recursos web académicos. BASE proporciona más de 120 millones de documentos de más de 6,000 fuentes. Puede acceder a los textos completos de aproximadamente el 60% de los documentos indexados de forma gratuita (Acceso abierto). BASE es operado por la Biblioteca de la Universidad de Bielefeld.

INDEXACIONES



Open Academic Journals Index (OAJI) es una base de datos de texto completo de revistas científicas de acceso abierto. Fundador - International Network Center for Fundamental and Applied Research, Estados Unidos. La misión es desarrollar una plataforma internacional para indexar las revistas científicas de acceso abierto. El Índice Global Actual de la Revista (CGIJ) OAJI se crea teniendo en cuenta las tendencias y los desafíos mundiales actuales en el campo de la indexación de las revistas científicas. CGIJ OAJI considera las bases de datos de citas cuantitativas (WoS, Scopus), así como la base de datos básica de acceso abierto (DOAJ).



ROAD es un servicio ofrecido por el Centro Internacional ISSN con el apoyo del Sector de Comunicación e Información de la UNESCO. Lanzado en diciembre de 2013, ROAD ofrece acceso gratuito a los registros bibliográficos de ISSN que describen los recursos académicos en Acceso Abierto: revistas, series monográficas, actas de congresos, repositorios académicos y blogs académicos. Estos registros, creados por la red ISSN (89 centros nacionales en todo el mundo + el Centro Internacional), se enriquecen con información extraída de bases de datos de indexación y abstracción, directorios (DOAJ, Latindex, registro de Keepers) e indicadores de revistas (Scopus).



Galardon obtenido por RIAA en el año 2017 como una de las revistas colombianas con mayor visibilidad internacional.

ÍNDICE

Editorial

Gloria M. Doria H.

13

Área Agrícola

Estabilidad de rendimientos de 5 genotipos de *gynerium saggitatum* aubl., Bajo dos niveles de fertilización en diez localidades del departamento de córdoba, colombia

Jaime Hernández Burgos- Alfredo Jarma Orozco- Alicia Humanez Álvarez,
Eder Durango Ballesteros

15

Analizando la evolución del modelado de enfermedades infecciosas

Félix Sebastián Rincón Tobo, Javier Antonio Ballesteros-Ricaurte,
Ángela María González Amarillo

27

EXtracción de glucósidos de stevia rebaudiana (*bertoni*) a partir de tecnologías de extracción verdes

steban Palacio-Vasquez, Juan Diego Arroyave-Roa, Mauricio Cardona-Caicedo,
John Heverth Hurtado-Ibarbo, Jader Martínez-Girón

43

Adaptabilidad de híbridos precomerciales tropicales de maíz en el Bajío de Guanajuato, México

J. Guadalupe García Rodríguez, Mariano Mendoza-Elos, Francisco Cervantes Ortiz,
Juan Gabriel Ramírez-Pimentel, Cesar Leobardo Aguirre-Mancilla, Marco Antonio García-Perea, María Guadalupe Figueroa Rivera, Gilberto Rodríguez Pérez,
Sergio A. Rodríguez-Herrera

57

Delimitación de la ronda hídrica con criterio ecosistémico del río Mijitayo, municipio de Pasto-Nariño

Laura Inés Bravo-Sossa, Lizeth Yuranny Romo-Bravo, Sandra Milena Madroñero-Palacios Francisco Ricardo Mafla-Chamorro

67

Pertinencia de las competencias demostradas en trabajos de grado de Ingeniería Forestal

Diana Marcela Niño Pinilla, Angie Tatiana Pérez Reyes,
Jaime Alberto Moreno Gutierrez

79

Área Pecuaria

Livestock Greenhouse Gases Emissions Under Grazing Conditions in the Tropic

Raúl Andrés Molina Benavides, Hugo Sánchez Guerrero, Daniel Mateus

91

Área Ambiental

Reducción del nivel de potasio en vinaza de destilería utilizando resina de intercambio iónico

Luisa Fernanda Torres Gaviria, Juan Camilo Ocampo Vélez, Alcira Socarrás Cárdenas

107

Estrategias internacionales de conservación implementadas en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas en Colombia

Paulina Alejandra Vergara Buitrago

119

Análisis de la generación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEES). Estudio de caso en la ciudad de Neiva

Christian Felipe Valderrama Lopez, Leidy Johana Diaz, Jesus Octavio Vargas

131

Remoción de cromo en aguas residuales industriales mediante el uso de biomasa de *Spirulina sp.*, sedimentación primaria y precipitación química

Yeni Maritza Meneses Barroso, Paula Andrea Patiño Mantilla, Jhon Freddy Betancur

141

Instrucciones para los Autores

153

EDITORIAL

Los sistemas de publicaciones han tomado parte de los principios estadísticos descriptivos para poder evidenciar la importancia de sistemas de medición en las revistas, dentro de las que se destacan: tasas de rechazo, números de pares externos, estadísticas de rebote entre otros, sin embargo, el mayor reto de la mayoría de las revistas es la de propender a las buenas prácticas editoriales y estas a su vez a mejorar los criterios de calidad con las que se disponen.

Las herramientas estadísticas son un apoyo valioso no solo para la descripción también para la proyección y la generación de modelos que nos lleven al estado superior acerca de lo que en este caso en particular puede proyectar las revistas visionándose a futuro y sus estrategias de conservación y especialización, de los cuales se puede apoyar la producción científica. Dentro de estas estrategias se encuentra la minería de datos y la cienciometría.

En el mundo de las ciencias de la información, la denominada **minería de datos**, esta es conocida comúnmente como **Knowledge Discovery in Databases**, básicamente este término se asocia a todo lo que es el proceso de extracción, procesamiento y análisis de un gran volumen de datos, los cuales permiten una correcta toma de decisiones basadas en modelamientos matemáticos. Por otro lado, la cienciometría busca el estudio detallado de la producción científica y el impacto de la misma, por ello nuestro principal reto es la conjunción de saberes para llegar a un conocimiento predictivo.

La revista de Investigación Agraria y Ambiental, junto a un valioso equipo liderado por el sello editorial UNAD se visiona a través de la consolidación de nuevos proyectos enmarcados en la potenciación de la estadística como estrategia de potenciación de las revistas institucionales, basándose en hallazgos apoyados en la minería de datos y la aplicación de los principios cienciométricos, retos en los que todas las revistas que apenas inician sus procesos de consolidación en el ámbito científico requieren, basar sus potenciales públicos y lectores en hallazgos estadísticos respaldados.

Gloria María Doria H.
Editora en jefe- Editor in chief

Margarita Bonilla
Coeditora- Coeditor

EDITORIAL

The publication systems have taken part of the descriptive statistical principles to demonstrate the importance of measurement systems in journals, among which stand out: rejection rates, numbers of external pairs, rebound statistics among others, however, the biggest challenge of most journals is to tend to good editorial practices and these in turn to improve the quality criteria that are available.

The statistical tools are a valuable support not only for the description also for the projection and the generation of models that take us to the higher state about what in this particular case can project the journals envisioning themselves in the future and their conservation and specialization strategies, of which scientific production can be supported. Within these strategies is data mining and scientometrics.

In the world of information science, the so-called data mining, this is commonly known as Knowledge Discovery in Databases, basically this term is associated with everything that is the process of extraction, processing and analysis of a large volume of data, which allow a correct decision making based on mathematical modeling. On the other hand, scientometrics seeks the detailed study of scientific production and the impact of it, so our main challenge is the conjunction of knowledge to reach a predictive knowledge.

The Revista Agraria y Ambiental, together with a valuable team led by the UNAD publishing label, are seen through the consolidation of new projects framed in the strengthening of statistics as a strategy for the strengthening of institutional journals, based on findings supported by data mining and the application of scientometric principles, challenges in which all journals that are just beginning their consolidation processes in the scientific field need to base their public potentials and readers on statistical findings supported.

Gloria María Doria H.
Editora en jefe- Editor in chief

Margarita Bonilla
Coeditora- Coeditor

ESTABILIDAD DE RENDIMIENTOS DE 5 GENOTIPOS DE *GYNERIUM SAGGITATUM* AUBL., BAJO DOS NIVELES DE FERTILIZACIÓN EN DIEZ LOCALIDADES DEL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA, COLOMBIA

STABILITY OF YIELDS OF 5 GENOTYPES OF *GYNERIUM SAGGITATUM* AUBL., UNDER TWO LEVELS OF FERTILIZATION IN TEN LOCALITIES OF THE DEPARTMENT OF CÓRDOBA, COLOMBIA

Jaime Hernández Burgos¹

Alfredo Jarma Orozco²

Alicia Humanez Álvarez³

Eder Durango Ballesteros⁴

¹ Ingeniero Agrónomo, Magister en Ciencias Agronómicas, Universidad Nacional Abierta y a Distancia - CCAV, Sahagún-Córdoba, (Colombia).

² Ingeniero Agrónomo, Doctor en Ciencias Agrarias, Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas Montería Córdoba.

³ Bióloga, Doctora en Biología vegetal y Edafología, Universidad del Sinú "Eliás Bechara Zainum", Facultad de Ciencias e Ingenierías, Departamento de Ciencias Básicas, Laboratorio de Investigaciones Biológicas, Montería (Colombia).

⁴ Ingeniero Agrónomo, Doctor en Biotecnología Agrícola, SENA. Centro Agroempresarial y Minero, SENNOVA. Cartagena (Colombia).

¹ jaime.hernandez@unad.edu.co

³ aliciahumanez@unisinu.edu.co

Resumen

La caña flecha (*Gynerium sagittatum* Aubl.) se ha convertido en sustento económico y de perpetuación cultural de antiguos pueblos indígenas de la costa norte colombiana. Sin embargo, el desconocimiento del comportamiento de este cultivo en diversas condiciones edafoclimáticas, generan baja capacidad de producción. En el presente trabajo se analizaron los rendimientos de fibra y fotosíntesis de

5 genotipos de caña flecha bajo dos niveles de fertilización en diez localidades del departamento de Córdoba: Bajo Grande, La Abisinia, San Martín, San Efraín, Tófeme, Buenos Aires, INTECAVI, Bella Cecilia, Chimalito y La Oportunidad, se utilizó un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 5x2: cinco (5) genotipos (Criolla, Criolla 1, Criolla 2, Martinera y Costanera), sometidos a dos (2)

niveles de fertilización: con y sin fertilización orgánica, con tres (3) repeticiones. Se midió la longitud de la nervadura central (LNC) y las tasas de intercambio gaseoso fotosíntesis neta, concentración interna de CO₂, conductancia estomática y transpiración. Se analizaron los rendimientos de fibra de acuerdo con el método de Lin y Binns (1988) y Carneiro (1998). Se realizó análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Duncan al nivel $\alpha=0.05$ de acuerdo con el diseño planteado, utilizando el paquete estadístico SAS 9.1. Se evidenciaron mayores tasas de fotosíntesis y rendimientos de fibra en los genotipos Criolla y Criolla 1 con respecto al resto, así como un mejor desarrollo de las plantas en las localidades de Buenos Aires, Bella Cecilia y Chimalito. Se obtuvieron rendimientos de fibra más estables cuando se aplicó fertilización orgánica. Los resultados sugieren fomentar el establecimiento de los genotipos Criolla y Criolla 1 en las localidades de Buenos Aires, Bella Cecilia y Chimalito, bajo aplicación de fertilizantes orgánicos que mejoren su productividad y eviten el agotamiento de los suelos.

Palabras clave: *caña flecha, estabilidad fenotípica, fotosíntesis, rendimientos.*

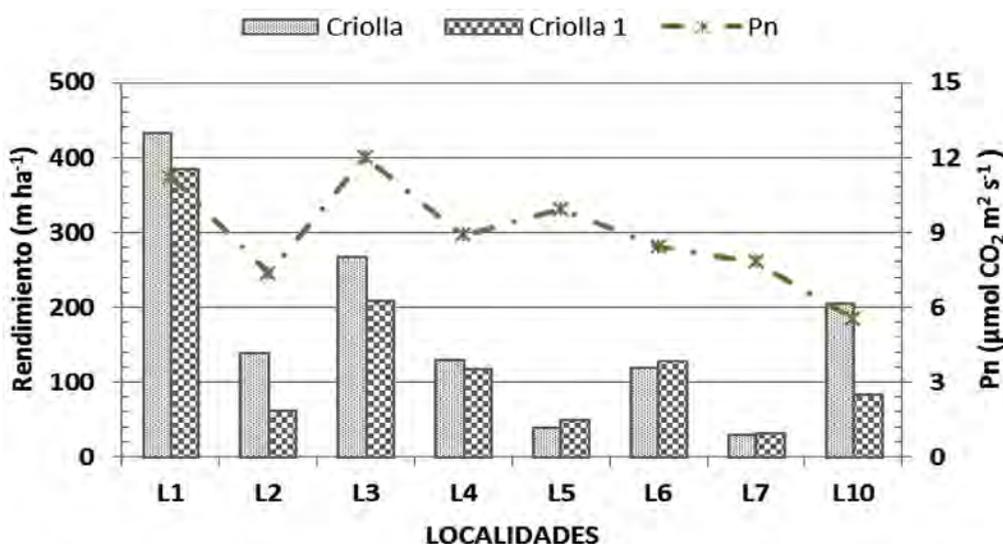
Abstract

Caña Flecha (*Gynerium sagittatum* Aubl.) has become an economic and cultural perpetuation of ancient indigenous peoples of the north coast of Colombia. However, the ignorance of the behavior of this crop in diverse edaphoclimatic conditions, generates low production capacity. In the present work, the fiber and

photosynthesis yields of 5 arrow cane genotypes under two levels of fertilization in ten localities of the department of Córdoba were analyzed: Bajo Grande, La Abisinia, San Martín, San Efraín, Tófeme, Buenos Aires, INTECAVI, Bella Cecilia, Chimalito and la Oportunidad, it was used a randomized complete block design with 5x2 factorial arrangement: five (5) genotypes (Criolla, Criolla 1, Criolla 2, Martinera y Costanera), subjected to two (2) fertilization levels without organic fertilization with three (3) replicates. The length of the central rib (LNC) and the rates of gaseous exchange net photosynthesis, internal concentration of CO₂, stomatal conductance and transpiration were measured. Fiber yields were analyzed according to the method of Lin y Binns (1988) y Carneiro (1998). Duncan analysis of variance and comparing means at the $\alpha = 0.05$ level were made according to the proposed design, using SAS 9.1 statistical package. There were higher rates of photosynthesis and fiber yields in the Criolla and Criolla 1 genotypes compared to the rest, as well as a better development of the plants in the localities of Buenos Aires, Bella Cecilia and Chimalito. More stable fiber yields were obtained when organic fertilization was applied. The results suggest to encourage the establishment of Criolla and Criolla 1 genotypes in the localities of Buenos Aires, Bella Cecilia and Chimalito, under the application of organic fertilizers that improve his productivity and avoid the depletion of the soils.

Keywords: *cana flecha, phenotypic stability, photosynthesis, yield.*

Resumen gráfico



Fotosíntesis y rendimientos (Criolla y Criolla 1) de caña flecha en 8 localidades del departamento de Córdoba.

Introducción

La caña flecha por ser una especie silvestre, originaria del continente americano, crece desde México hasta Paraguay e incluso en las islas del Caribe con excepción de las Bahamas (SNE 2004). En Colombia se encuentra en varios departamentos como: Antioquia, Arauca, Bolívar, Casanare, Cauca, Córdoba, Cundinamarca, Guajira, Huila, Putumayo, Sucre, Tolima y Vichada; sin embargo, solo en Córdoba y Sucre esta planta es usada con fines artesanales. (Casas Caro *et al.* 2010). En Córdoba, en el resguardo indígena de Tuchín y San Andrés de Sotavento cuenta actualmente con 93 ha y se requieren 145,4 ha adicionales para suplir dicha demanda caña flecha. (López Rojas *et al.* 2014). La identificación de ecotipos, la producción masiva de materias primas y transformación de las mismas a un costo sostenible y competitivo es fundamental para la conservación de una cultura milenaria.

Desde un punto de vista comercial el principal componente es la nervadura central de la

hoja de caña flecha, la cual se usa como materia prima para la elaboración de artesanías representativas de la cultura colombiana, en tanto que el tallo puede ser empleado para cercar las casas; la espiga de la inflorescencia, para flechas de pescar; la panoja, como elemento ornamental casero, convirtiéndose esta especie en sustento económico y forma de perpetuación de antiguos pueblos indígenas de la costa norte colombiana (Pastrana y Suarez 2009). Sin embargo, por no estar constituido como sistema de cultivo comercial de escala industrial, sino como un cultivo de pequeña escala, su manejo hasta el momento ha sido de forma empírica, con la aplicación de prácticas tradicionales (SNE 2004).

Al igual que cualquier cultivo la caña flecha necesita condiciones agroecológicas óptimas para su desarrollo si se quieren establecer cultivos comerciales que ayuden a las poblaciones indígenas a obtener materias primas

más económicas y de forma constante. Las características ambientales de una localidad influyen directamente sobre el crecimiento de las plantas y por supuesto en la calidad de los productos (Aramendiz *et al.* 2005), por lo que es común encontrar en la literatura la relación de la oferta ambiental sobre la tasa de crecimiento y sobre la acumulación de la biomasa (Mekonnen *et al.* 2006). Las variaciones de la época de siembra, la población y la incidencia de factores ambientales como radiación solar, precipitación, temperatura, etc. pueden afectar las expresiones fenotípicas y fisiológicas de las plantas, ya que se ven afectados procesos como la fotosíntesis, la transpiración, el alargamiento de células, el crecimiento y competencia entre especies (Jarma, 2008).

La carencia de un plan de manejo agronómico, de planes nutricionales, semillas de óptima calidad y el desconocimiento del comportamiento de este cultivo cuando se somete a diversas condiciones edafoclimáticas generan la baja capacidad de producción debido a que no se pueden trazar estrategias que permitan disminuir los tiempos de producción, mejorar los rendimientos y la calidad del producto, entre otros factores (Rivera *et al.* 2009; Durango y Humanez, 2017). El conocimiento y explicación de la expresión fenotípica de los diferentes genotipos de caña flecha cuando son expuestos a diferentes condiciones agroecológicas son necesarios para conocer y entender aspectos relacionados con las variables de rendimiento y producción. El objetivo de este trabajo fue evaluar el rendimiento y parámetros fisiológicos de cinco (5) genotipos de caña flecha (*Gynerium sagittatum* Aubl.), en los resguardos indígenas de San Andrés de Sotavento y Tuchín, en el departamento de Córdoba, bajo dos (2) niveles de fertilización.

Material Y Métodos

Se seleccionaron 10 localidades en los municipios de San Andrés de Sotavento (Bajo Grande, La Abisinia, San Martín, San Efraín, Tófeme) y Tuchín (Buenos Aires, INTECAVI, Bella Cecilia, Chimalito y La Oportunidad) en el departamento de Córdoba, Colombia. En cada localidad se delimitaron lotes de dos (2) hectáreas en la cuales se estableció un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 5x2: cinco (5) genotipos (Criolla, Criolla 1, Criolla 2, Martinera y Costanera), sometidos a dos (2) niveles de fertilización (con y sin fertilización orgánica) con tres (3) repeticiones, para un total de 30 unidades experimentales por localidad. Cada unidad experimental estuvo constituida por 10 plantas y para efectos de las mediciones se utilizaron 6 plantas por unidad experimental. Todas las plantas se encontraban en similares condiciones fisiológicas y en óptimas condiciones fitosanitarias.

Como variable de rendimiento (m) se consideró la longitud de la nervadura central (LNC), por estado nutricional, genotipo y localidad. En el período de máximo crecimiento (fase exponencial), en cada tratamiento se midieron las tasas de intercambio gaseoso con un medidor de gases al infrarrojo (IRGA). Se determinó la tasa de fotosíntesis neta P_n ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentración interna de CO_2 C_i (ppm), conductancia estomática g_s ($\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiración E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Para homogenizar las lecturas entre genotipos, se utilizó una radiación fotosintéticamente activa (PAR) estable de $1200 \mu\text{mol}$ de fotones $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y una concentración fija de CO_2 de 380 ppm.

Se aplicaron parámetros de estabilidad fenotípica para el rendimiento de fibra de acuerdo al método de Lin y Binns (1988), en el cual el desempeño general de los genotipos se define como el cuadrado medio de la distancia

entre la media del cultivar y la respuesta media máxima para todas las localidades, de tal modo que los genotipos, localidades y niveles de nutrición con menores valores corresponden a los de mayor estabilidad. Posteriormente se obtuvo el estadístico P_{ig} de acuerdo con Carneiro (1998), para determinar genotipos superiores en ambientes favorables y desfavorables. Los modelos son los siguientes:

Método de Lin y Binns (1988).

Definido como el cuadrado medio de la distancia entre la media del nivel de tratamiento y la respuesta media máxima para todas las localidades de tal modo, que la localidad, genotipo o nivel de fertilización con menores valores corresponde a los de mayor estabilidad. De acuerdo con esta definición el estimador P_{ig} es determinado por la siguiente fórmula:

$$P_{ig} = \frac{\sum_{j=1}^n (X_{ij} - M_j)^2}{2n} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

P_{ig} = estadístico del parámetro de estabilidad de la localidad, genotipo o nivel de fertilización i ;

X_{ij} = respuesta de la variable dependiente del i - ésima localidad, genotipo o nivel de fertilización en la j - ésima localidad;

M_j = respuesta máxima observada entre todas las localidades, genotipo o nivel de fertilización en la localidad j ;

n = número de localidades.

Método Carneiro (1998).

Descompone el estadístico P_{ig} , con el fin de identificar los genotipos superiores en ambientes favorables y desfavorables, utilizando la misma metodología de clasificación de

ambientes de Eberhart y Russell (1966). En esta descomposición se estimaron los estadísticos siguientes:

$$P_{if} = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - M_j)^2}{2f} \quad \text{y} \quad P_{id} = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - M_j)^2}{2d}$$

(Ecuación 2)

Dónde:

P_{if} = estadístico de P_{ig} para localidades o niveles de fertilización favorables;

P_{id} = estadístico de P_{ig} para localidades o niveles de fertilización favorables desfavorables;

f = número de localidades o niveles de fertilización desfavorables;

d = número de localidades o niveles de fertilización desfavorables;

X_{ij} y M_j como fueron definidos anteriormente.

Para las variables de intercambio gaseoso y de crecimiento y desarrollo, en cada una de las localidades se realizó una prueba de normalidad de Shapiro Wilk, prueba de homogeneidad de varianza, análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Duncan al nivel $\alpha=0.05$ de acuerdo al diseño planteado combinado con el paquete estadístico SAS 9.1.

Resultados Y Discusión

Análisis de varianza y estabilidad

En la tabla 1, se pueden observar los rendimientos promedios de nevadura para cada genotipo y localidades tanto en ambientes favorables como desfavorables. Los valores de rendimientos oscilaron entre 0,1 m para la localidad de San Martín y 289,4 m para Buenos Aires. Cuando se discrimina entre ambientes

favorables y desfavorables, se observa que los rendimientos estuvieron entre 120 m y 289,2 para localidades favorables y entre 0,1 m y 88,9 m para las localidades clasificadas como desfavorables. Para el caso de tratamientos:

Criolla F (138,5) Criolla NF (138,5) y Criolla 1 F (128,2) presentaron los mejores rendimientos y estabilidad tanto en localidades favorables como desfavorables (tabla 2).

Tabla 1. Rendimiento de fibra (m) de 5 genotipos de caña flecha evaluados en 10 localidades y dos niveles de nutrición y clasificación de localidades favorables y desfavorables.

GENOTIPOS	LOCALIDADES										PROMEDIO TRATAMIENTO
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	
CRIOLLA NF	477,3	150,9	262,5	184,7	25,8	133,8	39,2	24,1	0,0	87,2	138,5
CRIOLLA F	386,9	126,0	269,0	72,1	50,2	103,7	18,8	52,9	0,0	320,9	140,0
CRIOLLA 1 NF	246,3	71,2	191,8	124,4	35,1	54,2	36,3	104,1	0,0	74,1	93,7
CRIOLLA 1 F	520,4	50,8	222,6	110,4	62,1	199,9	24,2	0,0	0,3	91,3	128,2
CRIOLLA 2 NF	185,0	113,6	175,8	124,9	31,5	40,5	20,7	45,1	0,0	49,2	78,6
CRIOLLA 2 F	221,5	110,1	193,9	112,3	34,3	121,2	30,9	0,0	0,0	133,0	95,7
MARTINERA NF	254,5	73,0	91,6	131,3	67,7	50,9	33,1	17,8	0,0	43,0	76,3
MARTINERA F	228,6	35,6	157,9	88,8	62,6	33,3	26,8	33,3	0,0	66,1	73,3
COSTANERA NF	145,4	16,2	144,9	157,9	176,7	71,7	48,3	60,0	0,8	50,3	87,2
COSTANERA F	228,6	44,4	183,0	93,2	29,2	80,0	72,4	0,0	0,0	44,8	77,6
PROMEDIO LOCALIDAD	289,4	79,2	189,3	120,0	57,5	88,9	35,1	33,7	0,1	96,0	98,9
Diferencia	190,5	-19,7	90,4	21,1	-41,4	-10,0	-63,8	-65,2	-98,8	-2,9	
	f	d	f	f	d	d	d	d	d	d	

L1: Buenos Aires, L2: INTECAVI, L3: Bella Cecilia, L4: Chimalito, L5: La Oportunidad, L6: Bajo Grande, L7: La Abisinia, L8: San Martín, L9: San Efraín, L10: Tófeme. f: localidad favorable, d: localidad desfavorable. Los términos NF y F que aparecen al lado de cada genotipo corresponden a No Fertilizado y Fertilizado respectivamente.

La tabla 2, muestra que, para el caso de los tratamientos, combina el efecto del genotipo y la nutrición, los genotipos Criolla y Criolla 1 con y sin fertilización tuvieron los menores parámetros Pig, indicando que el rendimiento de fibra de estos genotipos muestra mayor estabilidad tanto cuando se fertiliza como al no fertilizarse. De igual forma sucede si se evalúa

solo el factor genotipo, se observa que Criolla y Criolla 1 muestran la mayor estabilidad de los rendimientos de fibra cuando son evaluadas en todas las localidades. Igualmente, la tabla 2 indica que las localidades con menores Pig o más estables para el rendimiento de caña flecha fueron Buenos Aires y Bella Cecilia, ambas ubicadas en el municipio Tuchín.

Tabla 2. Índices Pig, Pif y Pid para rendimiento de caña flecha de cinco genotipos evaluados a dos niveles de fertilización en 10 localidades.

Tratamiento	Pig		Pif		Pid		Loc	Pig Loc
	Tto	Gen	Tto	Gen	Tto	Gen		
Criolla NF	4557,8	273	316,6	0,0*	6375,4	390,0	L1	48,9
Criolla F	3093,7		2970,4		2241,0		L2	28656,5
Criolla 1 NF	9726,8	1524,8	13510,7	987,3*	7845,0	1755,2	L3	9355,1
Criolla 1 F	4832,8		358,2		6356,6		L4	21825,8
Criolla 2 NF	12632,4	4078,9	20195,8	9833,4	9135,1	1612,7	L5	36632,1
Criolla 2 F	8809,0		15825,2		5428,1		L6	24069,3
Martinera NF	11566,5	4810,2	17018,0	9416,2	9026,3	2836,2	L7	40577,8
Martinera F	11637,7		16243,9		9006,1		L8	41826,3
Costanera NF	13351,1	5486,1	25999,5	11738,3	7879,2	2806,6	L9	49602,1
Costanera F	11771,3		15420,5		9609,6		L10	25869,5

Fertilización	Pig	Pif	Pid
NF	523,27	683,41	454,64
F	201,82*	404,28*	115,05*

L1: Buenos Aires, L2: INTECAVI, L3: Bella Cecilia, L4: Chimalito, L5: La Oportunidad, L6: Bajo Grande, L7: La Abisinia, L8: San Martín, L9: San Efraín, L10: Tófeme, NF: No fertilizado, F: Fertilizado.

Igualmente, se realizó la descomposición del parámetro de estabilidad aplicando el modelo de Carneiro, el cual descompone el comportamiento de los tratamientos teniendo en cuenta si están en una localidad favorable o desfavorable (tabla 3). Para el caso de las localidades que se clasificaron como favorables en la tabla 1 (Buenos Aires, Bella Cecilia y Chimalito), se puede observar que los genotipos Criolla y Criolla 1 con y sin fertilizar presentan los menores indicadores de estabilidad Pif. De igual forma, en el caso de las localidades desfavorables (INTECAVI, La Oportunidad, Bajo Grande, La Abisinia, San Martín, San Efraín y Tófeme), la tabla 2 muestra que los genotipos Criolla y Criolla 1 con y sin fertilizar presentan los menores indicadores de estabilidad Pid, indicando así esta prueba, que los genotipos más estables

tanto en condiciones favorables como desfavorables son Criolla y Criolla 1.

Estos resultados muestran que los genotipos se comportan diferencialmente en diversos ambientes, esto es lo que se denomina interacción genotipo por ambiente (Souza 2005) y esta representa una de las principales dificultades para obtener rendimientos altos y estables en los procesos de selección, tanto de genotipos como de ambientes naturales o inducidos para obtener los mejores rendimientos (Pérez *et al.* 2005)

La tabla 2 también muestra los Índices de estabilidad del rendimiento de fibra, para ambientes favorables (Pif) y desfavorables (Pid) de los cinco (5) genotipos de caña flecha cuando son sometidos a dos niveles de

fertilización en las 10 localidades, indicando que el nivel de fertilización orgánica mostró menores Pig, Pif y Pid, indicando que se obtienen rendimientos de fibra más estables cuando se realiza fertilización ya sea en localidades favorables o desfavorables.

Parámetros fisiológicos

En la tabla 3, se muestran los resultados de los parámetros fisiológicos. Las mediciones se hicieron en las localidades de Buenos Aires, INTECAVI, Bella Cecilia, Chimalito, La Oportunidad, Bajo Grande, La Abisinia y Tófeme. No se realizó en las localidades de San Martín y San Efraín debido a que el porcentaje de mortalidad en estas localidades estuvo alrededor del 90% y los resultados no serían confiables y podría conducir a conclusiones erróneas. En el análisis de varianza se detectó un efecto significativo de las localidades en Pn, Ci, gs y E sugiriendo un comportamiento diferencial de las regiones sobre la adaptabilidad y eficiencia fisiológica de la especie, coincidiendo con Souza (2005) quien encontró un comportamiento similar en el cultivares de algodón al evaluarlo a diferentes ambientes y con Rodríguez (2011), quien evaluó un grupo de cultivares de trigo en la región de Mexicali en México. También se apreciaron diferencias significativas para fotosíntesis neta en el factor genotipo, indicando que el efecto genético fue más importante que la fertilización.

Al realizar la comparación de medias de Duncan (0.05%) se observó que las localidades Buenos Aires y Bella Cecilia presentaron los valores significativamente mayores de Pn (11,2 y 12,1 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$), Ci (157,8 y 191,3 $1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$), gs (0,12 y 0,15 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) y E (4,23 y 4,48 $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^2 \text{ s}^{-1}$) (Figura 1). Es probable que el comportamiento de estas variables en las localidades de Buenos Aires y Bella Cecilia expliquen los resultados

obtenidos en el análisis de estabilidad, en el cual estas localidades presentaron los menores índices de Pig, indicando que los rendimientos fueron más estables.

En la tabla 3 también se puede observar el análisis de varianza correspondiente a las variables Pn, Ci, gs y E dentro de cada una de las diferentes localidades evaluadas. Se puede apreciar que solo se registraron diferencias estadísticamente significativas para la variable fotosíntesis neta en el factor genotipo en todas las localidades, indicando que el efecto genético fue más importante que la fertilización. Es importante destacar que los valores de Pn observados para caña flecha están muy por debajo de los valores promedios que puede presentar una especie de metabolismo C4 (Taiz & Zaiger). Los resultados pueden dar una idea aproximada del gran estrés al que estuvieron sometidos los genotipos en todas las localidades, incluso en las dos de mejor comportamiento.

De acuerdo con los resultados anteriores, se puede señalar que el desempeño de un genotipo, depende, fundamentalmente de las condiciones ambientales a las que es sometido (Kang 1998; Ruiz et al., 2002) y la interacción genotipo ambiente obedece, en parte a la ocurrencia de algún tipo de estrés (Carbonell y Pompeu 2000; Pérez *et al.* 2005).

Ante la respuesta positiva del rendimiento de fibra en Buenos Aires y Bella Cecilia, es probable que esto sea una consecuencia de un mayor nivel de radiación (datos no mostrados en el presente experimento); Raffo e Iglesias (2004), indican que la radiación fotosintéticamente activa captada por una planta determina la cantidad de materia seca producida y la calidad de la producción, influyendo sobre el crecimiento y la productividad (Hernández et al., 2016; Jarma 2006). Los factores ambientales tales como

la radiación, temperaturas y humedad pueden afectar las expresiones fenotípicas y fisiológicas de las plantas (Taiz Zaiger 1998), ya que se afectan los procesos de fotosíntesis, transpiración, alargamiento celular, crecimiento y competencia entre especies (Mengel y Kirby 2001; jarma et al.,2008). Esto también podría explicar el comportamiento diferencial de los genotipos y los ambientes observados en este trabajo.

En la figura 2 se muestra las medias de los genotipos por localidad para Pn. En la localidad de Buenos Aires se registraron los mayores valores de Pn en los genotipos Criolla, Criolla 1, Criolla 2 y Martinera, con valores de 10,4; 11,2; 12,2 y 12,1 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente (Figura 2a).

Para el caso de la localidad Instecavi los mayores valores de Pn se observaron en los genotipos Criolla, Criolla 1 presentándose el orden siguiente: Criolla = Criolla 1 > Criolla 2 = Martinera > Costanera, con valores respectivos de 9,4; 8,3; 7,2; 6,5 y 4,8 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 2b).

En Bella Cecilia los mayores valores de Pn se registraron en los genotipos Criolla, Criolla 1, Criolla 2, presentándose el siguiente orden Criolla = Criolla 1 = Criolla 2 > Martinera = Costanera, con valores de 13,4; 12,9; 12,8; 10,7 y 10,3 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente (Figura 2c). En la localidad de Chimalito mayores valores de Pn se registraron en el genotipo Criolla, presentándose el siguiente orden Criolla > Criolla 1 = Criolla 2 = Martinera > Costanera, con valores de 10,9; 8,7; 9,3; 8,3 y 7,0 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente (Figura 2d).

Para el caso de la localidad de La Oportunidad la prueba de comparación de medias indica que los mayores valores de Pn se registraron en los genotipos Criolla, Criolla 1, Criolla 2 y Martinera, con valores respectivos de 11,6;

10,2 y 10,1 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 2e). En la localidad de Bajo Grande los mayores valores de Pn se registraron en los genotipos Criolla, Criolla 1, Criolla 2 y Martinera, con valores de 7,8; 8,4; 9,1 y 9 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente (Figura 2f).

En La Abisinia los mayores valores de Pn se registraron en los genotipos Criolla, Criolla 1, Criolla 2, presentándose el siguiente orden Criolla = Criolla 1 = Criolla 2 > Martinera = Costanera, con valores de 8,5; 8,4; 8,3; 7 y 6,7 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente (figura 2g). Por último, los mayores valores de Pn en la localidad de Tófeme se registraron en los genotipos Criolla, Criolla 1 presentándose el siguiente orden Criolla = Criolla 1 > Criolla 2 = Martinera > Costanera, con valores respectivos de 7,1; 6,3; 5,4; 4,9 y 3,6 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 2h).

Conclusiones

Se evidenciaron mayores rendimientos de fibra en los genotipos Criolla y Criolla 1 respecto al resto de genotipos, así como un efecto benéfico de las localidades Buenos Aires, Bella Cecilia y Chimalito. Se obtienen rendimientos de fibra más estables cuando se aplica fertilización orgánica tanto en localidades favorables como desfavorables. Las tasas de fotosíntesis de los genotipos Criolla y Criolla 1 fueron superiores en la mayoría de las localidades y las desventajas en la adaptación que presentarían genotipos como Martinera y Costanera. Los genotipos Martinera y Costanera fueron las menos adaptadas.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Gobernación de Córdoba y la Universidad del Sinú como entidad cooperante, en la actividad "evaluación fisiológica de la adaptación de 5 genotipos de caña flecha (*Gynerium sagittatum* Aubl), en

los resguardos indígenas de San Andrés de Sotavento y Tuchín, en el departamento de Córdoba, bajo dos (2) niveles de fertilización” en el marco del proyecto “ Desarrollo e investigación aplicada de un modelo experimental sostenible e innovador en la cadena productiva de artesanías derivadas de la Caña Flecha (*Gynerium sagittatum* Aubl.) en el departamento de Córdoba BPIN: 2012000100179.

Literatura Citada

- Aramendiz, H., Espitia, M. y Robles, J. (2005). Colección, conservación, caracterización morfoagronómica y producción de semilla de caña flecha (*Gynerium sagittatum* Aubl.) del Caribe Colombiano. CIUC. Universidad de Córdoba, Montería. 118 p.
- Carbonell, S. y Pompeu, A. (2000). Estabilidade fenotípica de linhagens de feijoeiro em três épocas de plantio no estado de São Paulo. Pesquisa Agropecuária Brasileira 35(2):321 - 329. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2000000200011>
- Carneiro PCS (1998) Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 155p.
- Casas Caro, L. F., Arévalo Ramírez, C. D. P., Garavito Carvajal, C. P., & Rodríguez Forero, G. M. (2010). Cartilla para la producción sostenible de artesanías en caña de flecha.
- Durango, É. y Humanéz, A. (2017). Enraizamiento de esquejes de Caña Agria (*Cheilocostus speciosus*. J. Koenig). *Revista Colombiana de Biotecnología*, 19(2), 133-139.
- Hernández, J.L. Combatt, E.M. Jarma, A. Polo, J. Rodríguez, L. (2016). Rendimiento y calidad de hojas de Stevia rebaudiana Bert. bajo la oferta edafológica y dos niveles de radiación en cinco regiones de Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 19 (1): 77 - 85. ISSN 0123-4226.
- Jarma, A. (2008). Estudios de adaptación y manejo integrado de estevia (*Stevia rebaudiana* Bert.): nueva alternativa agroindustrial del Caribe colombiano. Una revisión. *Rev. Colomb. Cien. Hort.* 2(1):109 - 120. <https://doi.org/10.17584/rcch.2008v2i1.1176>
- Jarma, A. Rengifo, T. and Aramendiz, H. (2006). Fisiología de estevia (*Stevia rebaudiana*) en función de la radiación en el Caribe colombiano. II.: Análisis de crecimiento. *Agron. colomb.* [online]. 24(1): 38-47. ISSN 0120-9965.
- Kang, M.S. (1998). Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. *Advances in Agronomy*, San Diego, v.62, p.199-252. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60569-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60569-6)
- Lin, C.S. and Binns, M.R. (1988). A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Can. J. Plant Sci.* 68: 193-198. <https://doi.org/10.4141/cjps88-018>
- López Rojas, S. L., Quiñones Rodríguez, N., & Villada Camelo, J. (2014). Informe final del proyecto fortalecimiento de la labor productiva del oficio artesanal en caña flecha en el Resguardo Zenú de San Andrés de Sotavento.
- Mekonnen, K. et al. (2006). Performance of eight tree species in the highland Vertisols of central Ethiopia: growth, foliage nutrient concentration and effect on soil chemical properties. *New Forest*, 32(3): 285-298. DOI 10.1007/s11056-006-9003-x
- Mengel, K. y Kirby, E. (2001). Principles of plant nutrition. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, The Netherlands.
- PÉREZ, J.C. CEBALLOS, H. ORTEGA, E. LENIS, J. (2005). Análisis de la interacción genotipo por ambiente en yuca (*Manihot esculenta* Crantz) usando el modelo AMMI. *Fitotecnia Colombiana*. 5(2):11-19.
- Raffo, M. y Iglesias, D. (2004). Efecto de la interceptación y distribución de la radiación fotosintéticamente activa en manzanos cv. 'Fuji', bajo cuatro sistemas de conducción en alta densidad. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)* 33(2), 29-42.
- Rivera, H.J. Suárez, I.E. Palacio, J.D. (2009). Análisis de la diversidad genética de la caña flecha *Gynerium sagittatum* Aubl. utilizándola como técnica de AFLP. *Agric. Téc. Méx.* 35 (1): 81-87. ISSN 0568-2517
- Rodriguez-Gonzalez, R.E. et al. (2011). Interacción genotipo-ambiente para la estabilidad de rendimiento en trigo en la región de Mexicali, B.C., México. *Trop. subtrop. agroecosyst* [online]. vol.14, n.2, pp. 543-558. ISSN 1870-0462.

- Ruiz, J.A. Flores, H.E. Ramírez, J.L. y González, D.R. (2002). CARDINAL TEMPERATURES AND LENGTH OF MATURATION CYCLE OF MAIZE HYBRID H-311 UNDER RAINFED CONDITIONS. *AGROCIENCIA*. 36 (5), 569-577-
- SNE-Servicio de Noticias del Estado. (2004). El sombrero vueltiao ahora es símbolo cultural de la Nación. En: Casa de Nariño, Presidencia de la República, <http://www.presidencia.gov.co/sne/2004/septiembre/10/02102004.html>.
- SOUZA, A.A. (2005). Interaction Genotype X Environment in cotton (*Gossypium hirsutum* L.r. latifolium Hutch) through the methods of adaptability, stability, and environmental grouping. Areia, PB: UFPB/CCA. 126p: il. Tese (Doctorate in Agronomy – Plant Breeding Genetic) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba.
- Taiz, L. Zeiger, E. (2010). *Plant physiology*. Fifth edition, Sinauer Associates, Incorporated, Redwood City, CA, p. 644-645.
- Taiz, L. y Zeiger, E. (1998). *Plant physiology*. Second edition. Sinauer Associates Inc. Publishers, Sunderland, USA. pp. 228-229.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

**Licencia de Creative Commons**

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

ANALIZANDO LA EVOLUCIÓN DEL MODELADO DE ENFERMEDADES INFECCIOSAS

ANALYSING THE EVOLUTION OF INFECTIOUS DISEASES MODELLING

Félix Sebastián Rincón Tobo¹
Javier Antonio Ballesteros-Ricaurte²
Ángela María González Amarillo³

¹ Maestría en Tecnología Informática, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Boyacá, Colombia.

² PhD(c) en ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Boyacá, Colombia.

³ Maestría en Administración de Empresas, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Tunja, Boyacá, Colombia.

¹ felix.rincon@uptc.edu.co

² javier.ballesteros@uptc.edu.co

³ angela.gonzalez@unad.edu.co

RESUMEN

El interés global por conocer y controlar las enfermedades que afectan a humanos y animales ha permitido modelar enfermedades mediante diversos métodos (modelos matemáticos, estocásticos, discretos) que se aplican actualmente para predecir la propagación de nuevas epidemias, reducir el contagio de enfermedades infecciosas, evaluar el impacto que tendrán las diferentes estrategias de control de enfermedades y mejorar las condiciones de vida de los individuos. Actualmente, nuevas técnicas y herramientas se están implementando para modelar enfermedades infecciosas, el presente documento describe conceptos de esta área, así como las tendencias y retos existentes, finalmente se ofrecen al lector algunos criterios

a considerar para la selección de un modelo epidemiológico.

Palabras clave: Control de epidemias; enfermedades infecciosas; impacto; modelo epidemiológico.

ABSTRACT

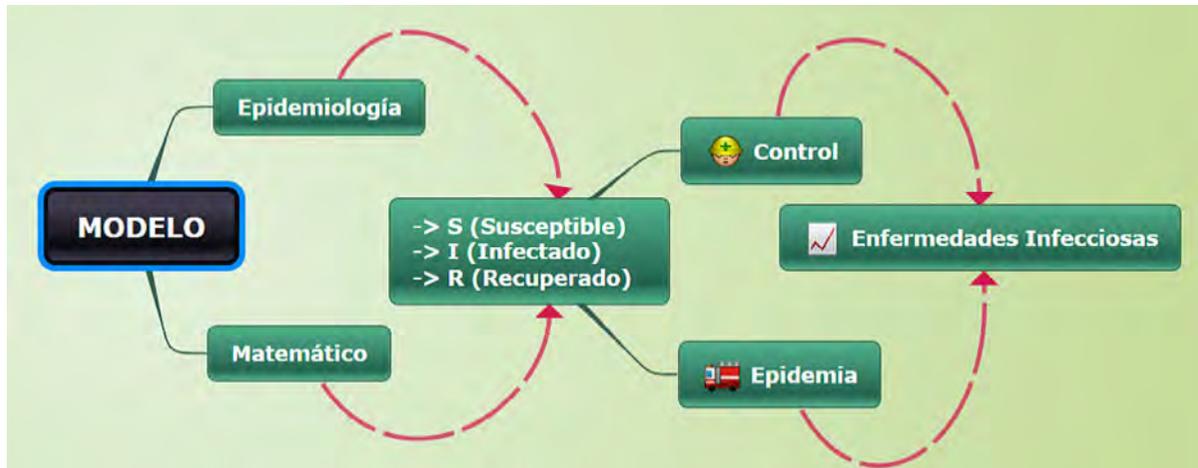
The global interest to know and deal with infectious diseases in humans and animals has led to the development of different models (mathematical, stochastic, discrete), applied to predict the spread of new epidemics, reduce the spread of infectious diseases, evaluate the impact of different disease control strategies and improve the living conditions of individuals. Nowadays, new techniques and tools

are being implemented to model infectious diseases, this paper describes the main concepts of this area, current trends and existing challenges, and finally, describes some criteria

for the selection of an epidemiological model.

Key words: infectious diseases, epidemiological model, impact, epidemic control.

Resumen gráfico



INTRODUCCIÓN

Hay un vertiginoso aumento en la capacidad de computo disponible, apalancando el desarrollo técnico y científico en diferentes áreas del conocimiento (Pérez, 2010), dentro de las que se encuentra la epidemiología, la cual busca comprender la distribución, incidencia y control de enfermedades.

Los primeros esfuerzos humanos por comprender el comportamiento de las enfermedades datan de la antigua Grecia en los tratados hipocráticos (University of Chicago, 2016); luego, en 1760 Daniel Bernoulli plantea uno de los primeros modelos matemáticos que simula el comportamiento de una enfermedad (Pedersen, 2015). Sin embargo, esta tendencia solo toma fuerza hasta principios del siglo XX, momento en que se empieza a dar relevancia a la epidemiología, al modelado de enfermedades y se incrementa la generación de textos científicos en el área (Hernández, 2007).

Un modelo epidemiológico es una representación del comportamiento de una enfermedad en una población, ya sea de humanos, plantas o animales, con el objetivo de predecir la rapidez de contagio de nuevos individuos, qué va a pasar con la epidemia en un futuro y qué efecto tendrán las estrategias de control como vacunación, cuarentena o sacrificio (Keeling & Rohani, 2011). Actualmente, los modelos epidemiológicos tienen diversas aplicaciones en diversas áreas, por citar algunos ejemplos se tienen: modelos geoespaciales de enfermedades infecciosas en fauna silvestre (Ligarte, Goicoa, Ibáñez & Militino, 2009; Staubach, Schmid, Knorr-Held & Ziller & 2002), el modelado epidemiológico y económico de la influenza aviar para evaluar estrategias de control de la enfermedad (Backer, van Roermund, Fischer, van Asseldonk & Bergevoet, 2015), el modelo epidemiológico para comprender el contagio de la carne de cerdo de salmonela en

el proceso de sacrificio (Savall, Bidot, Leblanc-Maridor, Belloc & Touzeau, 2016), el modelo epidemiológico para agrupar tendencias en publicaciones científicas (Marutschke & Ogawa, 2014); y adicionalmente, los modelos epidemiológicos han sido estudiados para generar nuevos modelos teniendo en cuenta la relación de redes sociales y redes de computadores, donde hay nuevas variables en contextos diferentes (Sahneh, Vajdi, Melander & Scoglio, 2017). Si bien el campo de aplicación de los modelos epidemiológicos es muy amplio, estos presentan algunos inconvenientes, pues muchos de los factores que deben ser tenidos en cuenta para comprender una enfermedad son de naturaleza aleatoria y no lineal, además las simplificaciones que realizan los modelos epidemiológicos rara vez contemplan la situación de los individuos de forma individual.

El reto actual para los investigadores en el área radica en superar estas dificultades y proponer nuevos modelos que abarquen el carácter aleatorio y no lineal de las epidemias, así como avanzar en la comprensión de los fenómenos epidemiológicos desde el punto de vista de los individuos de forma particular.

El presente artículo introduce al lector en el campo de los modelos epidemiológicos mostrando las bases analíticas y teóricas necesarias para el desarrollo de dicha actividad, posteriormente clasifica y analiza artículos científicos desarrollados en esta área que muestran el alcance y enfoque que tienen estos modelos, finalmente sugiere algunos aspectos y elementos que debe tener en cuenta el autor para la elección de un modelo epidemiológico.

ANTECEDENTES

A. Primer Modelo

Daniel Bernoulli realizó el primer acercamiento al proceso de modelado de una enfermedad,

su objetivo era determinar la conveniencia de utilizar una vacuna contra la viruela aun cuando esta no era totalmente efectiva (Pedersen, 2015), para tal fin Bernoulli realizó los siguientes supuestos (Bacaër, 2011):

- Las personas que contraen viruela por primera vez mueren con una probabilidad p y sobreviven con una probabilidad $(1 - p)$.
- Cualquier persona tiene una probabilidad q de ser infectado cada año, por tanto, la probabilidad que tiene un individuo de ser infectado entre la edad x y la edad $x + dx$ es $q \cdot dx$ siendo dx un periodo infinitesimal de tiempo.
- Las personas que son infectadas con viruela y sobreviven adquieren inmunidad de por vida.
- Si $m(x)$ es la probabilidad de morir a una edad x por causas diferentes a la viruela, la probabilidad de un individuo de morir en un periodo de tiempo infinitesimal entre la edad x y la edad $x + dx$ es $m(x) \cdot dx$.
- El número de personas nacidas en un mismo año se denota como P_0 .
- $S(x)$ es el número de personas aún vivas con edad x que nunca han contraído viruela.
- $R(x)$ es el número de personas aún vivas con edad x que contrajeron viruela y sobrevivieron.
- $P(x) = S(x) + R(x)$, siendo $P(x)$ el número total de personas vivas a la edad x .

Para simplificar el modelo se asume que no nacen nuevas personas.

De acuerdo con las observaciones de Bernoulli y al uso que él realizó de las tablas de Halley, la probabilidad de morir por viruela ***p es igual a 1/8*** y la probabilidad de contraer viruela ***q es igual a 1/8***, considerando que la vacuna es totalmente efectiva y se ha aplicada a todos los individuos al nacer conlleva al incremento de la esperanza de vida, siendo $P^*(x)$ la población de edad x viva en un periodo de tiempo dx .

De aquí se deduce que con una vacunación efectiva la esperanza de vida de la población aumenta 3.38 años, sin embargo, la vacunación no era completamente segura, por tanto, si p' es la probabilidad que tiene un individuo de morir por viruela luego de ser inoculado, pero teniendo en cuenta que $p' < p$. La esperanza de vida sería $(1-p')$. E^* que seguiría siendo mayor que sin vacunación siempre y cuando $p' < 1 - E/E^*$ o $p' < 11\%$, Bernoulli estimo que la probabilidad de morir luego de ser inoculado p' era cerca del 1% así que, aun cuando la inoculación no fuese 100% efectiva, esta debía ser promovida y aplicada.

Con el aporte de Daniel Bernoulli se crea un precedente de la manera en que las herramientas matemáticas permiten modelar y mejorar la comprensión de los fenómenos epidemiológicos, aportando así al bienestar de los individuos.

Aproximación al Modelo SIR

En 1927, William Kermack y Anderson McKendrick presentan en donde se define lo que hoy en día se conoce como un modelo SIR (Susceptible, Infectado, Recuperado) y que en la actualidad sigue siendo la base para un gran número de modelos epidemiológicos (Kermack & McKendrick, 1927).

El modelo planteado, difiere del que planteó Daniel Bernoulli, puesto que para él solo existían los estados S (susceptible) y R (recuperado), mientras que en este caso existen 3 estados: el estado X en el que se encuentran los individuos susceptibles, el estado Y en el que se encuentran las personas infectadas y el estado Z donde se encuentran los individuos recuperados. Luego de realizar consideraciones, como asumir la inexistencia de muertes y de nacimientos, y la obtención de inmunidad de por vida tras haberse recuperado de la enfermedad, Kermack y McKendrick llegan a las ecuaciones 1 a 3 que

definen los 3 estados del modelo (Kermack & McKendrick, 1927).

$$\frac{dx}{dt} = -k \cdot x \cdot y \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\frac{dy}{dt} = k \cdot x \cdot y - l \cdot y \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$\frac{dz}{dt} = l \cdot y \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde dx/dt es la variación de personas en estado susceptible, k es la razón a la que se enferman nuevos individuos, x es el número de individuos susceptibles, y es el número de individuos infectados y l es la razón a la que se recuperan los individuos infectados.

A partir de este modelo se han realizado numerosas variaciones de acuerdo con las características de cada enfermedad, agregando o suprimiendo estados, considerando muertes y nacimientos y generando herramientas para determinar con mayor precisión las tasas de contagio y recuperación.

Modelo Epidemiológico SIR

El modelo SIR (figura 1) está pensado para ser aplicado en enfermedades infecciosas ignorando la demografía (nacimientos, muertes y migraciones), en este modelo existen 3 estados en los que puede encontrarse un individuo (Susceptible, Infectado, Recuperado) y solo existen 2 transiciones posibles (Susceptible -> Infectado e Infectado -> Recuperado). La transición de S->I es producto de un proceso infeccioso en el que intervienen factores como: la prevalencia de la enfermedad, el contacto entre individuos susceptibles e infectados y la probabilidad de contagio debido un contacto; mientras que la transición entre Infectados y Recuperados está dada por la prevalencia de la enfermedad y las características de la misma que ocasionan una tasa de recuperación particulares para cada enfermedad.

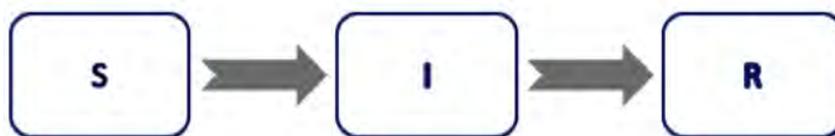


Figura 1. Diagrama de flujo Modelo SIR.

Fuente: Tomado de (Kermarck & McKendrick, 1927)

Para determinar el funcionamiento de este modelo y de acuerdo con lo expuesto por Keeling y Rohani (Keeling & Rohani, 2011), es necesario definir algunos factores:

- λ es la fuerza de infección y es la tasa per cápita a la que los individuos susceptibles contraen la enfermedad
- X es el número de individuos en el estado S
- $\lambda.X$ es la tasa a la que se producen nuevos infectados
- λ es proporcional al número de individuos infectados
- Existen dos enfoques para calcular λ , el primero depende de la frecuencia de contacto entre individuos susceptibles e infectados y está dado por $\lambda = \beta.Y/N$ y un segundo enfoque en el que λ depende de la densidad de población siendo $\lambda = \beta$. Y donde Y es el número de individuos en el estado I ; N es el total de la población; β es el producto de la tasa de contacto entre individuos y la probabilidad de contagio dado un contacto.
- El enfoque de frecuencia de contacto refleja las situaciones en las que la probabilidad de contagio no depende del tamaño de la población, es decir no existen mayores posibilidades de contraer gripa en una ciudad de 1 millón de habitantes que en una de 100.000 habitantes. Keeling & Rohani (2011) identifican que este

enfoque es más adecuado para modelar enfermedades transmitidas por vectores que tienen estructuras de contacto heterogéneas.

- El enfoque basado en la densidad se fundamenta en el hecho que entre más grande sea una población, mayor número de contactos aleatorios van a existir entre un individuo sano y uno susceptible, este enfoque es mayormente aplicado al modelado de enfermedades en plantas y animales.
- Para simplificar la notación es conveniente usar $S = (X/N)$, $I = (Y/N)$ donde I y S son la proporción de individuos infectados y susceptibles, respectivamente.
- Retomando la tasa de nuevos contagios dada por $\lambda.X$, se tiene la ecuación 4.

$$\lambda.X = \beta.I.X \quad (\text{Ecuación 4})$$

Con el objetivo de simplificar la notación y tener la ecuación en términos de densidades de población I y S , se reemplaza $S=X/N$, obteniendo la ecuación 5.

$$\frac{dS}{dt} = -\beta.I.S \quad (\text{Ecuación 5})$$

Para determinar la variación en la densidad de población infectada I se debe considerar la transición que se produce desde el estado S , que sería la misma mostrada en la ecuación 14, pero con signo contrario, y la transición

que va desde **I** hacia **R**, que depende de la densidad de población infectada y de la tasa de recuperación que para este caso se denota γ , con estas consideraciones se obtiene la ecuación 6 (Keeling & Rohani, 2011).

$$\frac{dI}{dt} = \beta \cdot I \cdot S - \gamma \cdot I \quad (\text{Ecuación 6})$$

Ahora, la variación de densidad de población Recuperada, depende únicamente de la transición proveniente del estado I, ya que previamente se asumió que no existían muertes, nacimientos, ni la posibilidad de ser susceptible nuevamente; de tal forma que la ecuación 7 (Keeling & Rohani, 2011) describe la variación del estado R.

$$\frac{dR}{dt} = \gamma \cdot I \quad (\text{Ecuación 7})$$

De esta forma se tienen las ecuaciones 5, 6 y 7 que describen el sistema SIR, adicionalmente es necesario describir algunos parámetros que son de interés y que permiten determinar con facilidad el comportamiento que tendrá el modelo:

Tasa de recuperación

La tasa de recuperación γ en las ecuaciones previas, es velocidad a la que se recuperan los individuos infectados, sin embargo, su inverso $1/\gamma = T$ es el tiempo promedio que dura enfermo un individuo, dato que puede

ser calculado fácilmente a partir de los registros médicos.

El fenómeno del Umbral

Al considerar la condición inicial de un modelo en el que no hay ningún individuo infectado ni recuperado, todos los individuos se encuentran susceptibles el fenómeno de introducir un individuo infectado permite identificar los factores que definen si ocurrirá una epidemia, o solo unos pocos individuos se infectaran antes de que la epidemia desaparezca. Reescribiendo la ecuación 6 se obtiene 8 (Keeling & Rohani, 2011).

$$\frac{dI}{dt} = I(\beta \cdot S - \gamma) \quad (\text{Ecuación 8})$$

Despejando S de la desigualdad se obtiene la ecuación 9.

$$\frac{\gamma}{\beta} < S \quad (\text{Ecuación 9})$$

De manera que para que dI/dt sea positivo y se produzca una epidemia, $S(0)$ debe ser mayor que γ/β fracción que es denominada Tasa relativa de recuperación y su inversa se denomina **Tasa básica de reproducción** o **RO**. Dadas estas consideraciones y teniendo en cuenta que $S(0)$ se concluye que:

En la tabla 1, se muestra la estimación de algunas tasas básicas de reproducción.

Tabla 1. Tasas básicas de reproducción.

Infectious Disease	Host	Estimated Ro	Reference
FIV	Domestic cats	1.1 – 1.5	Smith (2001)
Rabies	Dogs (Kenya)	2.44	Kitala et al. (2002)
Phocine Distemper	Seals	2 – 3	Swinton et al. (1998)
Tuberculosis	Cattle	2.6	Goodchild and Clifton-Hadley (2001)
Influenza	Humans	3 – 4	Murray (1989)
Food-and-Mouth Disease	Livestock farms (UK)	3.5 – 4.5	Ferguson et al. (2001b)
Smallpox	Humans	3.5 – 6	Gani and Leach (2001)
Rubella	Humans (UK)	6 – 7	Anderson and May (1991)
Chickenpox	Humans (UK)	10 – 12	Anderson and May (1991)
Measles	Humans (UK)	16 – 18	Anderson and May (1982)
Whooping Cough	Humans (UK)	16 – 18	Anderson and May (1982)

Fuente: Tomado de (Keeling & Rohani, 2011)

TENDENCIA ACTUAL

A partir de aportes representativos como el de Bernoulli (1760) y el de Kermack y McKendrick (1927) se establecen las bases para el desarrollo de modelos epidemiológicos muy diversos, cuyo objetivo puede clasificarse de acuerdo con dos variables: finalidad y tipo de modelo, donde la *finalidad* puede ser el análisis y proyección de epidemias o la evaluación de estrategias de control; mientras que el *tipo de modelo* se refieren al uso de modelos epidemiológicos existentes o a la creación de nuevos modelos; considerando estas dos variables y analizando 52 artículos de modelos epidemiológicos publicados desde el año 2013 en las bases de datos bibliográficas Science Direct y Scopus se obtiene la figura 2 que cuenta con 4 posibles categorías producto del cruce de las dos variables planteadas:

- 1) uso de modelos existentes para evaluar estrategias de control de epidemias,
- 2) uso de modelos existentes para el análisis de nuevas enfermedades infecciosas o de enfermedades infecciosas ya modeladas,

pero con características particulares,

- 3) la generación de nuevos modelos para evaluar estrategias de control de epidemias, y,
- 4) la formulación de nuevos modelos para describir de forma más precisa enfermedades previamente modeladas o enfermedades en condiciones particulares o nuevas enfermedades.

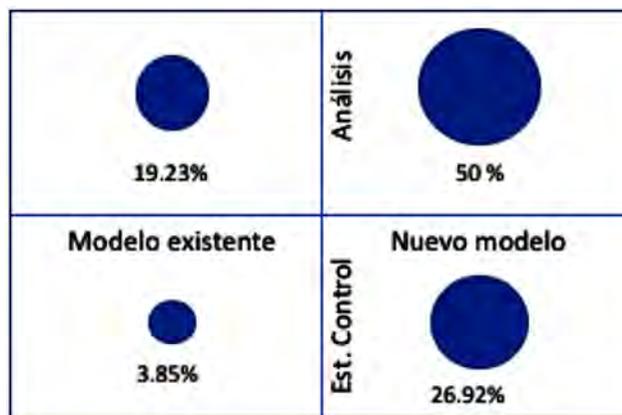


Figura 2. Clasificación de artículos de modelos epidemiológicos.

Fuente: Autores.

Estrategias de control de epidemias mediante modelos existentes.

El análisis de estrategias de control de epidemias mediante modelos existentes solo representa un 3.85% (figura 2) de la literatura revisada, este tipo de investigaciones se realizan cuando es necesario definir la efectividad de una estrategia de control para una enfermedad bien descrita en un entorno específico, así que se utiliza un modelo existente pero ajustando las condiciones locales, por ejemplo, se ha realizado el análisis del impacto del rotavirus con un modelo SVIR (susceptible, vacunado, infectado, recuperado) ajustándolo mediante el uso de parámetros como la tasa de nacimientos y el tamaño de la población propios de Gales e Inglaterra (Atkins, Shim, Pitzer & Galvin, 2012).

También es posible realizar investigaciones en esta área para evaluar nuevos métodos de control de enfermedades que permiten ser descritas por modelos básicos, Zaman, Kang & Jung (2009) aplican la teoría de control óptima para mejorar estrategias en un modelo tipo SIR (susceptible, infectado, recuperado) con retardo y se regula la propagación de la enfermedad modelada. Sin embargo, el bajo número de investigaciones realizadas muestran una tendencia a plantear nuevos modelos que describan con mayor precisión el comportamiento de las enfermedades y consideren fenómenos adicionales a los descritos en modelos epidemiológicos básicos (Gaucel, Laroche, Ezanno & Touzeau, 2009; Van Effelterre, Marano & Jacobsen, 2016) como lo son la interacción entre individuos y comunidades (Gaucel, Laroche, Ezanno & Touzeau, 2009; Ssematimba, Jores & Mariner, 2015; Bekara, Courcoul, Bénet & Durand, 2014; Cai, Wang & Wang, 2016; Rossi, De Leo, Pongolini, Natalini, Vincenzi & Bolzoni, 2015) o los desplazamientos y migraciones (Fan, Zhang & Gao, 2016; Njagarah & Nyabadza, 2014; Rao, 2016).

Estrategias de Control de Epidemias Mediante Nuevos Modelos

Muchos de los fenómenos que pueden ser descritos mediante modelos epidemiológicos tienen un alto grado de complejidad, si bien, la idea al producir un modelo es simplificar el fenómeno, existe un compromiso entre la simplicidad y la exactitud, siendo determinante la finalidad del modelo para definir su nivel de complejidad. Cuando la finalidad es evaluar o definir métodos de control, es muy importante la exactitud, ya que solo es posible controlar aquello que se conoce. En la revisión de los artículos reportados en las bases de datos previamente descritas se encontró que 26.92% (figura 2) de los documentos plantean nuevos modelos epidemiológicos para evaluar estrategias de control y tienen en común el interés por resolver situaciones actuales que generan o pueden generar grandes impactos de salud pública (Backer, van Roermund, Fischer, van Asseldonk & Bergevoet, 2015; Kar & Jana, 2013; Weidemann, Dehnert, Koch, Wichmann & Höhle, 2014; Sato, Ito, Sawai & Iwata, 2015; Aldila, Götz & Soewono, 2013; Yakob, Riley, Paterson & Clements, 2013; Rodrigues, Monteiro & Torres, 2014) o grandes impactos económicos por enfermedades en bovinos, porcinos y aves (Álvarez, Bezos, de la Cruz, Casal, Romero & Domínguez, 2014; Fischer, van Roermund, Hemerik, van Asseldonk & de Jong, 2005; Santman-Berends, Mars, van Duin & van Schaik, 2015; Van Hulze, Koets, Niele, Heuven, Van Arendonk & Klinkenberg, 2014).

Tras analizar con mayor profundidad los modelos que buscan controlar situaciones que ponen en riesgo la salud pública, se encuentran diversas propuestas como el modelamiento del comportamiento epidemiológico de la bacteria *Clostridium difficile* (Yakob, Riley, Paterson & Clements, 2013), que es la principal causa de diarrea infecciosa en pacientes

hospitalizados, la cual se describe mediante un modelo estocástico matemático, mostrado en la figura 3, que tiene como objetivo evaluar

métodos que permitan controlar y reducir la propagación de la enfermedad.

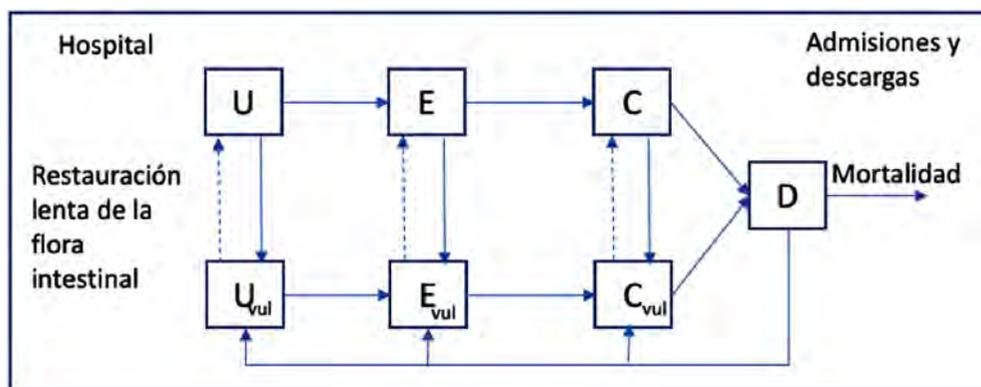


Figura 3. Modelo epidemiológico para la bacteria Clostridium difficile.

Fuente: Tomada de (Yakob, Riley, Paterson & Clements, 2013).

El modelo de la figura 3 cuenta con los estados U (*Unexposed* – no expuesto), E (*Exposed* - expuesto), C (*Colonized* – colonizado por la bacteria), D (*Diseased* – enfermo), adicionalmente se establecen los estados finalizados en “Vul”, que corresponden a sus pares, pero aplican para personas que han consumido medicamentos antimicrobiales; las flechas negras de la parte superior derecha describen el ingreso y salida de pacientes al hospital, las transiciones en línea punteada se derivan de una restauración de la flora intestinal y las transiciones continuas son producto del cambio de estado del paciente. Como conclusiones del estudio se determinan la ineficacia de la aplicación de medicamentos y de prebióticos para disminuir la incidencia de la enfermedad, sin embargo, los cuidados de las condiciones de higiene tienen un efecto significativo en la prevalencia de la enfermedad.

El segundo enfoque observado en los artículos que usan nuevos modelos para evaluar

estrategias de control es la inclusión de factores económicos, ya sea en el propio modelo o como criterio de evaluación de las estrategias de control o de herramientas de toma de decisiones, en este enfoque se determinan los efectos de implementar un programa de control nacional para la Diarrea Viral Bovina DVB en los países bajos (Santman-Berends, Mars, van Duijn & van Schaik, 2015), proponiéndose un modelo epidemiológico tipo SVIR que permite determinar la prevalencia de la DVB y posteriormente la salida del modelo epidemiológico sirve como entrada de un modelo estocástico obteniendo el costo total del programa de control de la enfermedad. El resultado se muestra en la figura 4 donde se describen varios escenarios, algunos que tienen un costo mayor a la situación actual y otros donde gracias a estrategias como la erradicación voluntaria o el uso de marcas en las orejas de los animales para realizar seguimiento, se logra reducir el costo total producto de la diarrea Bovina.

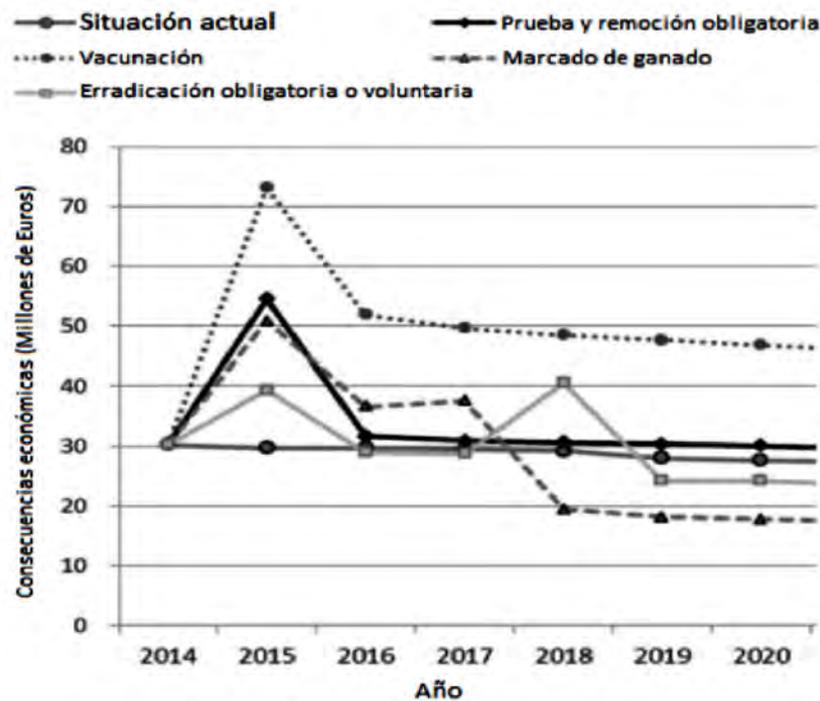


Figura 4. Proyección de costos de la implementación de un programa de control de la diarrea bovina en Holanda.

Fuente: Tomado de (Santman-Berends, Mars, van Duijn & van Schaik, 2015).

Uso de Modelos Existentes para el Análisis de Enfermedades

La utilización de modelos epidemiológicos previos para analizar enfermedades es una tendencia importante en las publicaciones recientes representada por 19.23% de los artículos consultados (figura 2), ya que esta categoría deja a un lado las estrategias de control. En general, las investigaciones buscan ajustar y adaptar modelos y enfermedades ya caracterizadas con las condiciones de lugares específicos o razas determinadas, enfoque bajo el cual se desarrollan otras investigaciones (Kang, Gunaseelan & Abbas, 2014; Kang, Gunaseelan & Abbas, 2015; Pittavin, Ferreri, Giacobini, Bertolotti, Rosati & Venturino, 2014). Por otra parte, se busca identificar factores que aun cuando no tengan vacuna están afectando situaciones susceptibles de ser descritas

mediante modelos epidemiológicos (Savall, Bidot, Leblanc-Maridor, Belloc & Touzeau, 2016; Morris, 2015; Milne, Gunn, Entrican & Longbottom, 2009; Cortés, Sánchez-Sánchez, Santonja & Villanueva, 2013; Holko, M□drek, Pastuszak & Phusavat, 20136). En resumen, esta tendencia permite mejorar la comprensión de las enfermedades epidémicas.

En el artículo descrito por Kang, Gunaseelan & Abbas (2014), se observa la primera tendencia, quienes mediante un modelo SIR clásico representan la brucelosis bovina, pero utilizando parámetros ajustados a India, la figura 5 muestra el modelo utilizado por el autor y en la tabla 2 se muestran los parámetros propios de India para el ajuste del modelo epidemiológico.



Figura 5. Modelo SIR que describe la Brucelosis bovina.

Fuente: Tomado de (Vynnycky & White, 2010).

Tabla 2. Parámetros modelo SIR brucelosis india.

Parámetro	Valor
Proporción susceptible (S) – estabilidad endémica	0.865
Proporción Infectada (I) – estabilidad endémica	0.135
Tasa de transmisión (β)	0.1156 /year
Tasa de Nacimiento/Muerte (μ)	0.1 /year
Eficacia de la vacuna (ν)	70%
Proporción de vacunados (p)	0 – 100%

Fuente: Tomado de (Kang, Gunaseelan & Abbas, 2014).

Por otra parte, se encuentran investigaciones publicadas en las que se usan los modelos previamente descritos para identificar factores que afectan el comportamiento de una enfermedad o situación susceptible de ser modelada epidemiológicamente y este resultado se observa muy bien en el artículo de Milne, Gunn, Entrican & Longbottom (2009), quienes utilizan dos modelos epidemiológicos tipo SEIR y SIR para describir el comportamiento del aborto en ovejas por clamidia y de esta manera, identificar parámetros claves que impactan la enfermedad como las tasas de contacto entre animales y con material infectado. Producto de esta investigación se determinó que la identificación de ovejas enfermas antes del parto disminuye drásticamente la tasa de abortos, pese a que la

forma en la que se contagia la enfermedad no es comprendida claramente.

Análisis de Enfermedades y Epidemias Mediante Nuevos Modelos.

Esta categoría abarca el 50% de las publicaciones revisadas (figura 2) siendo la más recurrente, aquí se encuentran las publicaciones que hacen uso de nuevas técnicas y herramientas para ampliar las posibilidades de los modelos epidemiológicos. Es común ver que los modelos epidemiológicos se enriquecen con componentes aleatorios y probabilísticos (Casabán, Cortés, Navarro-Quiles, Romero, Roselló & Villanueva, 2016; Casabán, Cortés, Romero & Roselló, 2015), donde los parámetros que definen modelos SIS y SI (susceptible – infectado) son de carácter aleatorio.

También se identifican investigaciones donde el uso de variables discretas mejora el desempeño de los modelos planteados (Cauchemez & Ferguson, 2008); otras donde se hace uso de técnicas matemáticas como perturbación singular (Ssematimba, Jores & Mariner, 2015), métodos numéricos (Öztürk & Gülsu, 2015), inyección de ruido blanco (Zhang, Jiang, Liu & O'Regan, 2016) o modelos bayesianos (Ligarte, Goicoa, Ibáñez & Militino, 2009).

Si bien, los modelos epidemiológicos representan una gran herramienta para el análisis de enfermedades y epidemias, en publicaciones como Rist, Ngonghala, Garchitorena, Brook, Ramananjato, Miller, *et al.* (2015) donde se evalúan factores económicos de Madagascar para modelar enfermedades de aves de corral que afectan la población pobre, o en Sieber, Malchow & Hilker (2014) donde se formula un modelo epidemio-ecológico que permite evaluar cómo el cambio de comportamiento producido por enfermedades infecciosas en los individuos de un sistema cazador-presa modifica tremendamente la estabilidad del mismo o el enfoque espacial expuesto en Staubach, Schmid, Knorr-Held & Ziller, (2002); Binder, Ross & Simpson, (2012) y Daniel, Hengartner, Rivera, Powell & McPherson (2013) demuestran que el utilizar modelos que combinan elementos epidemiológicos y elementos provenientes de otras áreas del conocimiento fortalecen el área de investigación y abren la posibilidad de generar nuevo y más diverso conocimiento.

ANÁLISIS

Cuando es necesario elegir un modelo epidemiológico para modelar una enfermedad infecciosa o cualquier otro fenómeno que sea susceptible de modelarse mediante esta técnica, es de vital importancia identificar las características particulares del fenómeno, el entorno en el que se desarrolla y la finalidad del modelo; dicho análisis junto con el conocimiento del área de estudio, permiten determinar si es posible usar o ajustar un modelo ya existente o es mejor plantear un modelo nuevo.

Tras analizar el enfoque de los artículos consultados (Figura 3) se observa una mayor tendencia por el uso de nuevos modelos, si bien, el plantear nuevos modelos que incorporan técnicas y teorías que previamente no hacían parte del modelado de epidemias, enriquece el área del conocimiento y abre las puertas a nuevas

posibilidades, por lo general se hace a nivel analítico, como herramienta para entender la dinámica del fenómeno y la efectividad del modelo epidemiológico. Cuando el objetivo es tomar decisiones que pueden significar vidas, los autores son más conservadores, pues usan modelos existentes que ya hayan sido probados en diferentes escenarios y analizados por otros pares, tal es el caso expuesto por Atkins, Shim, Pitzer & Galvani (2012) quienes usan un modelo previamente planteado y bien sustentado para la toma de decisiones con respecto a la vacunación contra el rotavirus en Gales.

En el caso de estrategias de control con el uso de modelos nuevos, si bien los autores agregan nuevas herramientas y enfoques, estos parten de la solidez de modelos bien fundamentados y agregan elementos que permitan mejorar el desempeño del modelo o se aproximen más al fenómeno real, de esta forma se obtiene la confiabilidad y aceptación del modelo previo, necesarias para tomar decisiones de vida o muerte, junto con las nuevas posibilidades que ofrecen la inclusión de nuevos elementos al modelo.

CONCLUSIONES

La utilidad y enfoque que pueden tener los modelos epidemiológicos de enfermedades infecciosas es muy amplio, sin embargo, en el presente documento luego de describir las generalidades de los modelos epidemiológicos de enfermedades infecciosas se logra caracterizar los planteamientos descritos en la literatura revisada de acuerdo con 2 variables, el tipo de modelo utilizado (nuevo o ya existente) y la finalidad del modelo (evaluar estrategias de control o analizar e identificar características de enfermedades). Sin embargo, cada documento puede abarcar diversas temáticas y mezclar en mayor o menor medida características de cada una de las categorías creadas. La lucha contra las enfermedades es continua y a medida que surgen nuevas herramientas técnicas y

tecnológicas será posible modelar fenómenos infecciosos que en la actualidad no es posible, que se modelan de forma parcial o que surjan en el futuro afortunadamente este es un campo de la ciencia de gran interés en la actualidad que recibe los aportes muchas personas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo contó con el apoyo de los integrantes del Grupo de Investigación en Medicina Veterinaria y Zootecnia – GIDIMEVETZ, de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, profesionales que entregaron información y así mismo validaron los procesos en cada etapa de desarrollo del proyecto.

LITERATURA CITADA

- Aldila D., Götz T. & Soewono E. (2013). An optimal control problem arising from a dengue disease transmission model. *Mathematical Biosciences*; 242(1): 9–16. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.mbs.2012.11.014>
- Álvarez J., Bezos J., de la Cruz M.L., Casal C., Romero B., Domínguez L., et al. (2014). Bovine tuberculosis: Within-herd transmission models to support and direct the decision-making process. *Res Vet Sci*; 97, Supple, S61 – S68. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.rvsc.2014.04.00>
- Atkins K.E., Shim E., Pitzer V.E. & Galvani A.P. (2012). Impact of rotavirus vaccination on epidemiological dynamics in England and Wales. *Vaccine*; 30(3): 552–564. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.vaccine.2011.11.064>
- Bacaër N. (2011). *A Short History of Mathematical Population Dynamics*. New York, Springer. <http://doi.org/10.1007/978-0-85729-115-8>
- Backer J.A., van Roermund H.J., Fischer E.A., van Asseldonk M.A. & Bergevoet, R.H. (2015). Controlling highly pathogenic avian influenza outbreaks: An epidemiological and economic model analysis. *Prev Vet Med*; 121(1–2): 142–150. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2015.06.006>
- Bekara M.A., Courcoul A., Bénet J. & Durand B. (2014). Modeling tuberculosis dynamics, detection and control in cattle herds. *PLoS One*; 9(9), e108584. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0108584>
- Binder B.J., Ross J.V. & Simpson M.J. (2012). A hybrid model for studying spatial aspects of infectious diseases. *ANZIAM Journal*; 54(1-2): 37–49. <http://doi.org/10.1017/S1446181112000296>
- Cai Y., Wang Z. & Wang W. (2016). Endemic dynamics in a host-parasite epidemiological model within spatially heterogeneous environment. *Applied Mathematics Letters*; 61: 129–136. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.aml.2016.05.011>
- Casabán M., Cortés J., Navarro-Quiles A., Romero J., Roselló M. & Villanueva R. (2016). A comprehensive probabilistic solution of random SIS-type epidemiological models using the random variable transformation technique. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*; 32: 199–210. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.cnsns.2015.08.009>
- Casabán M., Cortés J., Romero J. & Roselló M. (2015). Probabilistic solution of random SI-type epidemiological models using the Random Variable Transformation technique. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*; 24(1–3): 86–97. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.cnsns.2014.12.016>
- Cauchemez S. & Ferguson N.M. (2008). Likelihood-based estimation of continuous-time epidemic models from time-series data: Application to measles transmission in London. *Journal of the Royal Society Interface*; 5(25): 885–897. <http://doi.org/10.1098/rsif.2007.1292>
- Cortés J., Sánchez-Sánchez A., Santonja F. & Villanueva R.J. (2013). Non-parametric probabilistic forecasting of academic performance in Spanish high school using an epidemiological modelling approach. *Applied Mathematics and Computation*; 221: 648–661. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.amc.2013.06.070>
- Daniel W.B., Hengartner N.W., Rivera M.K., Powell D.R. & McPherson T.N. (2013). An epidemiological model of spatial coupling for trips longer than the infectious period. *Mathematical Biosciences*; 242(1): 1–8. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.mbs.2012.11.002>
- Fan K., Zhang Y. & Gao S. (2016). On a new eco-epidemiological model for migratory birds with modified Leslie-Gower functional schemes. *Advances in Difference Equations*; 97(1). <http://doi.org/10.1186/s13662-016-0825-3>
- Fischer E.A.J., van Roermund H.J.W., Hemerik L., van Asseldonk M.A.P.M. & de Jong M.C.M. (2005). Evaluation of surveillance strategies for

- bovine tuberculosis (*Mycobacterium bovis*) using an individual based epidemiological model. *Prev Vet Med*; 67(4): 283–301. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2004.12.002>
- Gaucel S., Laroche B., Ezanno P., Vergu E. & Touzeau S. (2009). Using singular perturbations to reduce an epidemiological model: Application to bovine viral diarrhoea virus within-herd spread. *J Theor Biol*; 258(3): 426–436. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jtbi.2008.08.011>
- Hernández M. (2007). *Epidemiología: diseño y análisis de estudios*. 2nd ed. Editorial Médica Panamericana.
- Holko A., Mędrek M., Pastuszek Z. & Phusavat K. (2016). Epidemiological modeling with a population density map-based cellular automata simulation system. *Expert Systems with Applications*; 48: 1–8. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2015.08.018>
- Kang G.J., Gunaseelan L. & Abbas K.M. (2014). Epidemiological modeling of bovine brucellosis in India. In *Big Data (Big Data)*, *IEEE International Conference on 2014*; 6–10. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1109/BigData.2014.7004420>
- Kang G., Gunaseelan L. & Abbas K. (2015). Epidemiological dynamics of bovine brucellosis in India. *Annals of Global Health*; 81(1): 127–128. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.aogh.2015.02.793>
- Kar T.K. & Jana S. (2013). A theoretical study on mathematical modelling of an infectious disease with application of optimal control. *Biosystems*; 111(1): 37–50. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystems.2012.10.003>
- Keeling M. J. & Rohani P. (2011). *Modeling infectious diseases in Humans and Animals*. New Jersey, USA: Princeton University Press. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84884049994&partnerID=40&md5=c999c61563de33ed4e8a6171c364ad25>. Consultado 20 Jul, 2017.
- Kermack W.O. & McKendrick A.G. (1927). A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics. *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*; 115(772): 700–721. <http://doi.org/10.1098/rspa.1927.0118>
- Ligarte M.D., Goicoa T., Ibáñez B. & Militino, A.F. (2009). Evaluating the performance of spatio-temporal Bayesian models in disease mapping. *Environmetrics*; 20(6): 647–665. <http://doi.org/10.1002/env.969>
- Marutschke D.M. & Ogawa H. (2014). Clustering Scientific Publication Trends in Cultural Context Using Epidemiological Model Parameters. *Procedia Technology*; 18: 90–95. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.protcy.2014.11.018>
- Milne C.E., Gunn G.J., Entrican G. & Longbottom D. (2009). Epidemiological modelling of chlamydial abortion in sheep flocks. *Vet Microbiol*; 135(1–2): 128–133. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.vetmic.2008.09.032>
- Morris R.S. (2015). Diseases, dilemmas, decisions—Converting epidemiological dilemmas into successful disease control decisions. *Prev Vet Med*; 122(1–2): 242–252. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2015.05.003>
- Njagarah J.B. & Nyabadza F. (2014). A metapopulation model for cholera transmission dynamics between communities linked by migration. *Applied Mathematics and Computation*; 241: 317–331. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.amc.2014.05.036>
- Öztürk Y. & Gülsu M. (2015). Numerical solution of a modified epidemiological model for computer viruses. *Applied Mathematical Modelling*; 39(23–24): 7600–7610. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2015.03.023>
- Pedersen S. (2015). *Algunos Modelos matemáticos para (algunas) enfermedades contagiosas: transmisión, infección, tratamiento [Tesis de Licenciatura]*. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires.
- Pérez J. M. (2010). *Inteligencia computacional inspirada en la vida*. SPICUM – Universidad de Málaga.
- Pittavino M., Ferreri L., Giacobini M., Bertolotti L., Rosati S. & Venturino E. (2014). A CAEV epidemiological model for goat breeding. *Applied Mathematics and Computation*; 227: 156–163. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.amc.2013.11.030>
- Rao D.M. (2016). Efficient parallel simulation of spatially-explicit agent-based epidemiological models. *Journal of Parallel and Distributed Computing*; 93–94: 102–119. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jpdc.2016.04.004>
- Rist C.L., Ngonghala C.N., Garchitorena A., Brook C.E., Ramananjato R., Miller A.C., et al. (2015). Modeling the burden of poultry disease on the rural poor in Madagascar. *One Health*; 1: 60–65. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.onehlt.2015.10.002>

- Rodrigues H.S., Monteiro M.T.T. & Torres D.F.M. (2014). Vaccination models and optimal control strategies to dengue. *Mathematical Biosciences*; 247: 1–12. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.mbs.2013.10.006>
- Rossi G., De Leo G.A., Pongolini S., Natalini S., Vincenzi S. & Bolzoni L. (2015). Epidemiological modelling for the assessment of bovine tuberculosis surveillance in the dairy farm network in Emilia-Romagna (Italy). *Epidemics*; 11: 62–70. <http://doi.org/10.1016/j.epidem.2015.02.007>
- Sahneh F.D., Vajdi A., Melander J. & Scoglio C.M. (2017). Contact Adaption during Epidemics: A Multilayer Network Formulation Approach. *IEEE Transaction on Network Science and Engineering*. DOI 10.1109/TNSE.2017.2770091
- Santman-Berends I.M.G.A., Mars M.H., van Duijn L. & van Schaik G. (2015). Evaluation of the epidemiological and economic consequences of control scenarios for bovine viral diarrhoea virus in dairy herds. *J Dairy Sci*; 98(11): 7699–7716. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-9255>
- Sato A.H., Ito I., Sawai H. & Iwata K. (2015). An epidemic simulation with a delayed stochastic SIR model based on international socioeconomic-technological databases. *Big Data (Big Data), 2015 IEEE International Conference on: 2732–2741*. <http://doi.org/10.1109/BigData.2015.7364074>
- Savall J.F., Bidot C., Leblanc-Maridor M., Belloc C. & Touzeau S. (2016). Modelling Salmonella transmission among pigs from farm to slaughterhouse: Interplay between management variability and epidemiological uncertainty. *Int J Food Microbiol*; 229: 33–43. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.03.020>
- Sieber M., Malchow H. & Hilker F.M. (2014). Disease-induced modification of prey competition in eco-epidemiological models. *Ecological Complexity*; 18: 74–82. <http://doi.org/10.1016/j.ecocom.2013.06.002>
- Ssematimba A., Jores J. & Mariner J.C. (2015). Mathematical modelling of the transmission dynamics of contagious bovine pleuropneumonia reveals minimal target profiles for improved vaccines and diagnostic assays. *PLoS ONE* 2015; 10(2). <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0116730>
- Staubach C., Schmid V., Knorr-Held L. & Ziller M. (2002). A Bayesian model for spatial wildlife disease prevalence data. *Prev Vet Med*; 56(1): 75–87. [http://doi.org/10.1016/S0167-5877\(02\)00125-3](http://doi.org/10.1016/S0167-5877(02)00125-3)
- University of Chicago. (1989). Hipócrates. Hippocratic writings. On airs, waters and places. <http://classics.mit.edu/Hippocrates/airwatpl.2.2.html>. Consultado 23 Jul, 2017.
- Van Effelterre T., Marano C. & Jacobsen K.H. (2016). Modeling the hepatitis A epidemiological transition in Thailand. *Vaccine*; 34(4): 555–562. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.vaccine.2015.11.052>
- Van Hulzen K.J.E., Koets A.P., Nielen M., Heuven H.C.M., Van Arendonk J.A.M. & Klinkenberg D. (2014). The effect of genetic selection for Johne's disease resistance in dairy cattle: Results of a genetic-epidemiological model. *J Dairy Sci*; 97(3): 1762–1773. <http://doi.org/10.3168/jds.2013-7032>
- Vynnycky E. & White R. (2010). *An Introduction to Infectious Disease Modelling*. 1nd ed. OUP Oxford.
- Weidemann F., Dehnert M., Koch J., Wichmann O. & Höhle M. (2014). Modelling the epidemiological impact of rotavirus vaccination in Germany – A Bayesian approach. *Vaccine*; 32(40): 5250–5257. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.vaccine.2014.06.090>
- Yakob L., Riley T.V., Paterson D.L. & Clements A.C.A. (2013). Clostridium difficile exposure as an insidious source of infection in healthcare settings: An epidemiological model. *BMC Infectious Diseases*; 13(1). <http://doi.org/10.1186/1471-2334-13-376>
- Zaman G., Kang Y.H. & Jung I.H. (2009). Optimal treatment of an SIR epidemic model with time delay. *Biosystems*; 98(1): 43–50. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystems.2009.05.006>
- Zhang Q., Jiang D., Liu Z., O'Regan D. (2016). Asymptotic behavior of a three species eco-epidemiological model perturbed by white noise. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*; 433(1): 121–148. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jmaa.2015.07.025>

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons
Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

EXTRACCIÓN DE GLUCÓSIDOS DE *STEVIA REBAUDIANA* (*BERTONI*) A PARTIR DE TECNOLOGÍAS DE EXTRACCIÓN VERDES

GLYCOSIDES EXTRACTION FROM *STEVIA REBAUDIANA* (*BERTONI*) USING GREEN EXTRACTION TECHNOLOGIES

Esteban Palacio-Vasquez¹
Juan Diego Arroyave-Roa²
Mauricio Cardona-Caicedo³
John Heverth Hurtado-Ibarbo⁴
Jader Martínez-Girón⁵

^{1, 2, 3, 4} Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira. Colombia.

⁵ Químico, Tecnólogo en Alimentos, Magíster en Educación, Magíster en Ingeniería Agroindustrial.
Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira. Colombia.
Universidad del Valle-Sede Palmira. Colombia

¹ epalacio@unal.edu.co

² jdarroyaver@unal.edu.co

³ maucardonacai@unal.edu.co

⁴ jhhurtadoi@unal.edu.co

⁵ jader.martinez@correounivalle.edu.co

RESUMEN

La obesidad y la diabetes generada por el consumo excesivo de sacarosa, ha impulsado tendencias de consumo de productos con edulcorantes naturales de bajo poder calórico. Los glucósidos de estevia son una alternativa edulcorante que poseen un dulzor 200-400 veces superior al de la sacarosa y con nulo aporte calórico. Estos glucósidos han sido obtenidos con técnicas convencionales de extracción que generan altos consumos energéticos y un impacto ambiental negativo. Este trabajo identifica las técnicas de extracción verdes más

empleadas para la obtención de glucósidos. Entre ellas, las microondas que generan un rápido calentamiento debido a campos eléctricos y magnéticos. El ultrasonido que incrementa el área de transferencia debido a la cavitación. Los disolventes en condiciones supercríticas que tienen una mejor capacidad de extracción, y las enzimas que favorecen la disponibilidad del analito al romper la celulosa. El ultrasonido presentó los rendimientos más altos con valores de 96,46 mg/g y 36,92 mg/g de extracto para esteviósido y Rebaudiósido-A,

respectivamente. Algunas de las nuevas técnicas de extracción basadas en las altas presiones y temperaturas como la efectuada con disolventes acelerados (con rendimientos hasta de 63,20 mg/g de extracto, para esteviosido), son tecnologías amigables con el medio ambiente y con potencial uso industrial.

Palabras clave: Esteviosido, microondas, Rebaudiosido-A, fluidos supercríticos, ultrasonido.

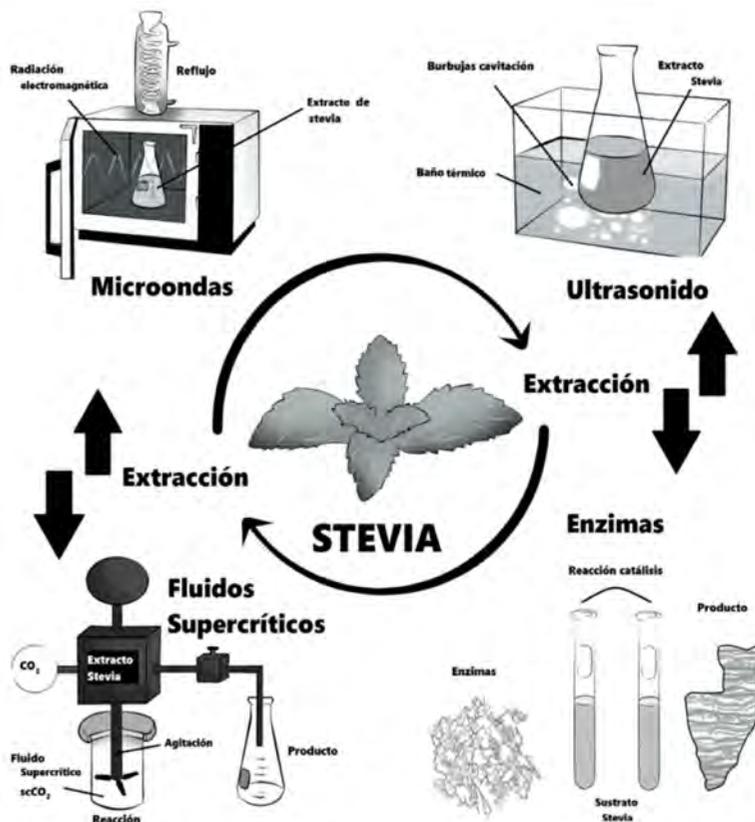
ABSTRACT

Generated by the overconsumption of sucrose, diabetes and obesity has led to consumption trends of products with low calorie natural sweeteners. Glycosides of Stevia are an alternative sweetener that has a sweetness 200-400 times greater than sucrose and also have zero calorie. These glycosides have been obtained with conventional extraction techniques that generate high energy consumption and negative

environmental impact. This work identifies the most used green extraction techniques for obtaining the glycosides. Some of them like microwaves generate rapid heating due to electric and magnetic fields; ultrasound increases the area of mass transfer due to cavitation, solvents in supercritical conditions have better ability to extraction, and enzymes promote the availability of the analyte breaking the cellulose. Ultrasound presented higher yields with values of 96,46 and 36,92 (mg/g of extract) for stevioside and Rebaudioside-A, respectively. Some of the new extraction techniques based on high pressures and temperatures like the use of accelerated solvents extraction (with yields of up to 63,20 mg/g dry extract, for stevioside), are environmentally friendly technologies with the environment and they have potential industrial uses.

Keywords: Microwaves, Rebaudioside-A, Stevioside, ultrasound, supercritical fluids.

Resumen gráfico



Procesos de extracción verde para obtención de glucósidos de Stevia rebaudiana

Fuente: autores

INTRODUCCIÓN

El consumo de sacarosa ha ido incrementando durante las últimas cuatro décadas, y se ha utilizado como el edulcorante predilecto en diferentes productos como jugos, yogurt, postres, etc. Sin embargo, se ha establecido que el consumo excesivo de azúcar es una de las principales causas de la epidemia de diabetes tipo 2 (Mooradian, Smith & Tokuda, 2017) y del evidente incremento en la obesidad de las personas. Para el año 1980 se estimaba 29% de adultos obesos, y para el año 2013 se reportó 38% de este mismo tipo de población (Lobete *et al.*, 2017); un incremento que a la fecha puede ser mayor.

En respuesta a esta situación, la industria alimentaria está investigando el desarrollo de productos con edulcorantes de bajo aporte calórico, para disminuir el deterioro de la salud y satisfacer las necesidades de sus consumidores. Dentro de este tipo de edulcorantes se encuentran los glucósidos de esteviol provenientes de la planta *Stevia rebaudiana* Bertoni; un arbusto perenne de la familia *Asteraceae* oriundo de América del Sur (Prakash *et al.*, 2017; Khattab *et al.*, 2015).

La estevia ha adquirido un importante valor económico para la industria debido a su alto contenido en compuestos dulces. La cantidad de glucósidos de diterpenos es alrededor de un 4-20% de la materia seca de las hojas de la planta; entre ellos se encuentran el esteviósido, rebaudiósidos A, B, C, D, E y F; dulcósido A y esteviolbíosido (Wolwer, 2012). Sin embargo, el esteviósido y el rebaudiósido-A (Reb-A) son los que se encuentran en mayor proporción, convirtiéndose así en los compuestos de referencia para este estudio.

Referenciado específicamente al esteviósido y Reb-A, el porcentaje en peso seco de las hojas de estevia para cada compuesto es de 4-13% y

2-4%, respectivamente. Cabe mencionar, que el poder edulcorante es de 250-300 veces superior al de la sacarosa para el caso de esteviósido, y 300-450 veces para el Reb-A (Khattab *et al.*, 2015; Ljaz *et al.*, 2015; Jentzer *et al.*, 2015). Además, este edulcorante natural ha resultado ser atractivo para la industria agroalimentaria por su alta resistencia al tratamiento térmico, estabilidad en medios ácidos, carácter natural y nulo aporte calórico (0 kcal/g) (Le Donne *et al.*, 2017; Sylvetsky & Rother, 2016); aun así, su uso ha sido motivo de investigación debido a que la reducción o sustitución de la sacarosa en una matriz alimentaria, genera un incremento en la actividad de agua del producto, y por tanto vulnerabilidad ante el deterioro microbiano (Lobete *et al.*, 2017).

La "Administración de alimentos y medicamentos" (FDA, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos y la "Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria" (AESA, por sus siglas en inglés) reconocieron los glucósidos puros derivados de la *Stevia rebaudiana* (Bertoni) como productos "Generalmente reconocidos como seguros" (GRAS, por sus siglas en inglés) en los años 2008 y 2010, respectivamente (Lobete *et al.*, 2017). En relación con el consumo de este edulcorante, el "Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios" (JECFA por sus siglas en inglés) aprobó el uso de los glucósidos de estevia como edulcorantes, y sugirió una ingesta diaria admisible (IDA) de 4 mg/kg/día (Khattab *et al.*, 2015). Además, la Unión Europea los clasificó como edulcorantes bajo el código E960 (Sylvetsky & Rother, 2016; Edwards *et al.*, 2016).

Actualmente, se utilizan diferentes técnicas de extracción para la obtención de esteviósido y Reb-A. Entre estas, la extracción con disolventes orgánicos es el método más empleado. No obstante, la calidad y cantidad que se

puede conseguir de un extracto depende de la técnica de extracción, el tipo de disolvente y las condiciones de la materia prima usada en el proceso. En la actualidad, los métodos convencionales de extracción (basados principalmente en el uso de agua caliente y disolventes orgánicos) generan problemas como la degradación de compuestos, elevado gasto de disolventes, problemas ambientales y largos periodos de operación (Oliveira *et al.*, 2016). Diversas investigaciones realizadas durante los últimos años han tratado de solucionar estos problemas, aplicando técnicas de extracción verde, como, por ejemplo, extracciones con fluidos supercríticos (EFS), extracciones asistidas por ultrasonidos (EAU), extracciones asistidas por microondas (EAM) y extracciones asistidas por enzimas (EAA) (Oliveira *et al.*, 2016; Zlabur *et al.*, 2015; Barrales, Alves & Martínez, 2015).

Dentro de las tendencias agroindustriales que buscan obtener compuestos bioactivos a partir de plantas, se distinguen estos métodos de extracción por ser amigables con el medio ambiente. Por tal motivo, y teniendo en cuenta la amplia variedad de técnicas existentes para la obtención de glucósidos a partir de *Stevia rebaudiana* Bertoni, se hace necesario utilizar métodos de extracción que permitan optimizar el proceso, minimizando el uso de disolventes orgánicos, ofreciendo una opción "verde" para mejorar la disponibilidad de los compuestos a extraer (Koubaa *et al.*, 2015).

Algunos autores, señalan que este tipo de extracciones, pueden entenderse como un nuevo concepto para abordar los retos del siglo XXI en las diferentes industrias en las que se pueden aplicar. Dado que con la implementación de estas técnicas se busca proteger al medio ambiente, a los consumidores y al mismo tiempo, aumentar la competitividad de las

industrias de una forma ecológica, económica e innovadora (Chemat *et al.*, 2017).

Esta revisión presenta un estudio del conocimiento actual sobre algunos procesos de extracción verdes aplicados para la obtención de glucósidos de estevia (principalmente esteviósido y Reb-A). Se abordan las técnicas de extracción más utilizadas, los mecanismos implicados en la tecnología, los parámetros influyentes dentro del proceso y los diferentes casos de investigación que se han publicado en el periodo de tiempo comprendido entre el año 2009 y el 2017.

MATERIALES Y MÉTODOS

La información se obtuvo a partir de un proceso de búsqueda en bases de datos de origen internacional como ScienceDirect, Springer Link y Wiley Online Library. En la búsqueda se utilizaron palabras clave como "stevia extraction", "rebaudioside extraction", "estevioside extraction", "green extraction of stevia" y "steviol glycosides extraction". Los artículos se seleccionaron teniendo en cuenta su fecha de publicación y en su contenido debía mencionarse que la técnica de extracción empleada era "verde" o "amigable con el medio ambiente", salvo aquellas técnicas de extracción convencional que fueron utilizadas como medio de comparación.

PLANTEAMIENTO DE LA TEMÁTICA

Extracción asistida por microondas (EAM)

Las microondas son radiaciones no ionizantes que se utilizan en un intervalo de frecuencia entre 300 Mhz – 300 GHz (Koubaa *et al.*, 2015; Barrera-Vásquez, 2015; Estel *et al.*, 2017). Son de naturaleza electromagnética, lo que implica la generación de campos eléctricos y magnéticos perpendiculares entre sí, y perpendiculares a la dirección de la energía y

la propagación de ondas. El fundamento de la técnica es producir un rápido calentamiento a través de dos fenómenos, la conducción iónica y la rotación dipolar, en un medio que tenga buenas propiedades dieléctricas (Barrera-Vásquez, 2015; Estel *et al.*, 2017). En el primer fenómeno, el medio ofrece resistencia a la migración de electrones generada por el campo eléctrico, y en el segundo, los dipolos de las moléculas rotan de conformidad al cambio de dirección del campo eléctrico, produciendo fricción con las moléculas contiguas. Debido al calentamiento generado, se evapora la humedad de la célula vegetal produciendo una enorme presión sobre la pared celular, que conlleva a su ruptura. De igual forma, se favorece el arrastre de lixiviados por parte del disolvente desde la célula rota (Koubaa *et al.* 2015; Barrera-Vásquez, 2015).

Los rendimientos de extracción obtenidos con esta técnica son superiores en comparación con métodos de extracción convencional (Ver anexo tabla 1), a pesar de ello, son sensibles al cambio en el tiempo del tratamiento, la polaridad del disolvente utilizado y la potencia de las microondas (Ameer *et al.* 2017; Zekovic *et al.* 2017). Un incremento en el tiempo favorece el contacto entre el disolvente y la matriz donde reposan los compuestos de interés, incrementando la tasa de difusión de los glucósidos hacia el disolvente. Por otro lado, el requerimiento de potencia a utilizar es directamente proporcional a dos factores, el tamaño de partícula y la cantidad de muestra utilizada (Yildiz-Ozturk *et al.*, 2015).

Por otro lado, la articulación de microondas con técnicas como la hidro-destilación, ha resultado ser una alternativa que reduce el consumo energético del proceso, debido a una mayor velocidad de transferencia de calor promovida por EAM. Se ha reportado que la reducción es

de unos 0,05kWh/kg, ya que la hidro-destilación consume 0,12 kWh/kg, y al estar asistida con microondas genera un consumo de 0,07 kWh/kg (Koubaa *et al.* 2015).

A partir de lo anterior, se puede establecer que la extracción asistida por microondas es una tecnología con potencial uso en la extracción de glucósidos de Stevia, que produce rendimientos significativos y únicamente requiere una buena definición de las condiciones experimentales óptimas, que permitan la mejor extracción con un gasto energético justo.

Extracción asistida por Ultrasonido (EAU)

EAU es una tecnología que se ha utilizado ampliamente en los últimos 20 años como un método eficiente de extracción en diversas industrias como la de alimentos, la química y la farmacéutica (Esclapez *et al.*, 2011). El ultrasonido inducido en un medio líquido genera un fenómeno conocido como cavitación. Este fenómeno tiene lugar cuando se propagan ondas ultrasónicas de baja frecuencia (20 kHz a 100 kHz). Como consecuencia se generan en el medio ciclos de compresión y descompresión que forman micro-burbujas que terminan por colapsar produciendo ondas de choque de varios cientos de atmosferas y temperaturas aproximadas a los 5000 K. Los efectos mecánicos producidos por la implosión de estas burbujas en la interfaz sólido-líquido incluyen impactos micro-chorro y daños inducidos por las ondas de choque. Esto, a su vez conlleva a que la transferencia de masa de compuestos extraíbles se acelere sustancialmente (Esclapez *et al.* 2011; Zlabur *et al.* 2015).

Las investigaciones relacionadas a la EAU de glucósidos de estevia han aumentado en los últimos años. Un estudio de Liu & Tang (2010) relacionado con la optimización de la extracción de carbohidratos totales de estevia

empleando el método de superficie de respuesta (MSR), indicó que el rendimiento de los extractos era significativamente afectado por la temperatura y la potencia. Se determinó que la EAU afectó de manera positiva el rendimiento en comparación con el método de extracción clásico, aumentándolo 1,4 veces. Además, la cantidad relativa de Reb-A incrementó en los extractos obtenidos mediante EAU, promoviendo una mejor calidad y un menor regusto amargo en los mismos.

Otros estudios relacionados, como el realizado por Zlabur *et al.* (2015), ha revelado la influencia del diámetro de la sonda de ultrasonido y el tiempo de sonicación en el proceso de extracción, indicando que existe una gran influencia en el rendimiento de los glucósidos de estevia dada por la variación de estos dos parámetros. El cambio en el diámetro de la sonda de extracción (7mm a 22 mm) conllevó a un cambio en la temperatura del proceso de 45,5°C a 81,2°C. Dicho estudio también comparó la EAU con la extracción con disolvente tradicional (agua y etanol al 70%), encontrando que la EAU presentaba rendimientos superiores de esteviósido y Reb-A.

Por otra parte, se han realizado estudios para determinar los disolventes adecuados para optimizar el rendimiento. En el estudio de Gasmalla *et al.* (2014) tres tipos de disolventes fueron evaluados (agua, etanol e isopropanol), y se determinó que las mejores concentraciones eran etanol al 30% e isopropanol al 60%. El estudio señala que el incremento en la potencia de la sonicación de 400 a 480 W durante periodos de extracción de 12, 18 y 24 minutos, podría dañar la estructura del Reb-A extraído.

Teniendo en cuenta lo anterior, estudios realizados por Gasmalla, Yang & Hua (2015) un año después, en los que se evaluaron el tiempo y

potencia de sonicación utilizando isopropanol al 60%; reportaron que, en promedio, el rendimiento de Reb-A aumentaba cuando se utilizan potencias de sonicación que iban de 300-360 W, pero disminuía cuando el nivel de potencia iba de 400-480 W. Esto sugiere considerar un riesgo de degradación de compuestos extraídos a dichas potencias. Además, este estudio también determinó que hay una disminución significativa del tamaño de partícula con el aumento de la potencia y del tiempo de sonicación.

En definitiva, la EAU se posiciona como una tecnología atractiva en la extracción de glucósidos de Stevia, presentando mejores rendimientos de extracción y extractos de mayor calidad, en tiempos y temperaturas menores a las establecidas en otros métodos (Ver anexo tabla 1).

Extracción con fluidos supercríticos (EFS)

EFS es una técnica emergente que puede solucionar las limitaciones que presenta la extracción convencional. Se caracteriza por el uso de disolventes a presiones y temperaturas por encima de su punto crítico, de modo que puede proporcionar diferentes capacidades de extracción dependiendo de la naturaleza fisicoquímica del extracto. Uno de los fluidos supercríticos más utilizados es el CO₂, dado que presenta excelentes propiedades extractivas en diferentes compuestos. Sin embargo, cuando se requiere extraer de manera eficaz compuestos de carácter polar y elevado peso molecular, es necesario utilizar co-disolventes como etanol, metanol y acetona, para modificar las propiedades fisicoquímicas del fluido en mención (Li *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2017; Flores & De Almeida, 2016).

La EFS que emplea CO₂ como medio de extracción es más rápida que Soxhlet y no aporta ningún disolvente residual en el extracto final, dado que el CO₂ a altas temperaturas y

altas presiones, en relación con su punto crítico, se comporta como un gas. Los glucósidos de estevia se benefician de las propiedades fisicoquímicas del CO₂ supercrítico, al poseer mayor difusividad y menor viscosidad que otros disolventes líquidos. Sin embargo, el CO₂ puro carece de poder de solvatación para el esteviósido y Reb-A polar, por lo tanto, un co-disolvente polar debe ser adicionado (Erkucuk, Akgun & Yesil-Celiktas, 2009; Hinojosa-Gonzalez, 2017; Venturi *et al.*, 2017).

En un estudio relacionado con la extracción de glucósidos de estevia mediante la EFS, se evaluaron variables como temperatura (40-80°C) y concentración de mezcla etanol-agua (70:30) que actuó como co-disolvente (0-20%); con un flujo de CO₂ de 15 g/min durante 60 min. Las condiciones óptimas de extracción se obtuvieron a 250 bar de presión, 80°C de temperatura y 20% de co-disolvente. Con un rendimiento de 41,10 mg/g para esteviósido y 18,8 mg/g para Reb-A. La composición total de glucósidos obtenida mediante Soxhlet (64,49 mg/g) fue cercana a la obtenida mediante la técnica EFS (59,90 mg/g) (Erkucuk *et al.*, 2009).

De acuerdo con lo mencionado y evidenciado en la Tabla 1. La EFS representa una alternativa atractiva para la obtención de extractos de esteviósido y en especial de Reb-A, dado que con esta tecnología de extracción se obtienen rendimientos superiores a los conseguidos con la extracción convencional Soxhlet. Sin embargo, es imprescindible la realización de nuevos estudios relacionados con la extracción de los glucósidos de Stevia, mediante la técnica EFS.

Extracción asistida por enzimas (EAA)

En la actualidad, se emplean medios enzimáticos para romper los enlaces β -1,4 de la primera capa de la estructura correspondiente a la lámina central de la celulosa, catalizando su

descomposición en glucosa y celobiosa; esto permite que los glucósidos de estevia almacenados en las vacuolas de la célula sean más fáciles de extraer. Se ha determinado que las extracciones con mayores rendimientos en la obtención de esteviósidos se presentan con las hemicelulasas, celulasas y pectinasas (Tabla 1) (Koubaa *et al.*, 2015; Adari *et al.*, 2016).

Sin embargo, mediante estas enzimas hidrolíticas, también se busca mejorar las propiedades edulcorantes de los extractos. Aunque el esteviósido y el Reb-A son atractivos por su alto poder edulcorante, este último ofrece una sensación de mayor dulzor, y sin características de amargura, convirtiéndolo en un compuesto de mayor aceptación para el consumidor final (Puri *et al.*, 2012; Adari *et al.* 2016; Khatlab *et al.* 2015).

La glicosilación *in vitro* del esteviósido para la producción de Reb-A, es una alternativa de bajo costo, donde la actividad específica de la enzima glicosiltransferasa, permite aumentar la proporción Reb-A/esteviósido; se utiliza la UDP-glucosa como donador activo de azúcar, permitiendo obtener rendimientos de hasta el 50 % de conversión a Reb-A, en un periodo de incubación de 24 h (Wang Y. *et al.* 2016).

Se han reportado estudios en los que se produce Reb-A a partir de esteviósidos, al emplear la celulasa (0,5-3% v/v) para hidrolizar las paredes celulares de las hojas de la planta, liberando material intracelular que contiene glucósidos de esteviol, α -amilasas y transglucosilasas endógenas. En presencia de un medio rico en almidón soluble (1-5% p/v), las α -amilasas degradan el polisacárido en estructuras de menor peso molecular como la glucosa. Dichas glucosas son transferidas al C-13 del esteviósido, cuya reacción es catalizada por las glicosiltransferasas, permitiendo sintetizar el Reb-A (Adari *et al.* 2016).

Cabe resaltar, que se deben garantizar las condiciones fisicoquímicas que exigen las enzimas hidrolíticas como la α -Amilasa procedente del *Aspergillus oryzae* (TAKA); esta requiere de una temperatura estándar de 70°C, un rango favorable de pH de 5.0-7.0, una concentración de enzima de 50 U/mL y una concentración inicial de sustrato menor a 20g/100 mL (punto de nula difusión enzimática por elevada viscosidad) (Carbonell-Capella *et al.*, 2015). A partir de los anteriores métodos de purificación y obtención del Reb-A, se han obtenido rendimientos entre el 4 y 66 % de conversión (Adari *et al.*, 2016).

Por otra parte, se ha reportado que la celulasa en presencia de sales con metales de transición (0,1 M FeCl₃) tiene la capacidad de extraer el 72% de los glucósidos de esteviol presentes en la planta (Tabla 1), donde el 43,62% corresponde a los esteviósidos y el 28,96% al Reb-A (Rao *et al.*, 2015).

El enfoque actual de los tratamientos enzimáticos para los glucósidos de stevia, se basan en la conversión de estos compuestos por medio de hidrólisis enzimática específica (β -galactosidasa) y/o transglicosilación, para mitigar el regusto amargo, sin afectar el poder edulcorante del mismo (Chen *et al.*, 2016). Por ejemplo, la actividad de las glucoproteínas extracelulares como la fructosiltransferasa del *Aspergillus spp.* Tienen la capacidad de sintetizar fructoligosacáridos de stevia (FOSGs), transfiriendo moléculas de fructosa a los residuos de glucosa propias del Reb-A. Aunque dicha transferencia es especificada y catalizada por enzimas como la fructosiltransferasa de *Microbacterium saccharophilum*, se logra obtener un edulcorante intenso, con un sabor semejante a la sacarosa, sin restos amargos, y con funciones prebióticas, convirtiéndolo en un alimento funcional (Spohner & Czermak, 2016).

RECUPERACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Otras técnicas emergentes ambientalmente amigables

Existen otras técnicas aparte de las mencionadas que pretenden cumplir con algunos de los principios que fundamentan la extracción verde de productos naturales, estos son: selección de la mejor variedad de la planta, uso de solventes verdes o agro-solventes, reducción del consumo energético, reutilización de solventes o insumos, simplificación de procesos y eliminación de agentes contaminantes (Chemat, Vian & Cravotto, 2012).

Figuran dentro de dichas técnicas, la maceración dinámica, la extracción con solvente acelerado, la extracción dinámica sólido-líquida rápida, extracción con agua subcrítica, la turbo extracción y la extracción con agua caliente presurizada. Técnicas que a la luz del argumento de los investigadores que las han trabajado recientemente, tienen un enfoque ambientalmente amigable debido a la búsqueda de las mejores condiciones de extracción para evitar el consumo excesivo de energía y disolventes, la reducción de los tiempos de tratamiento elevando la temperatura y la presión del disolvente, y el uso de disolventes verdes como el agua o el etanol. Los rendimientos obtenidos en las extracciones de esteviósido y Reb-A utilizando las técnicas mencionadas con anterioridad, se muestran en la (ver anexo Tabla 2.)

DISCUSIÓN DE LOS HALLAZGOS

Extracción asistida por microondas

El uso de microondas para la extracción de glucósidos de stevia es una técnica que ofrece una serie de ventajas, desventajas y limitaciones, que deben ser tenidas en cuenta, al momento de ser empleada en algún tratamiento a escala de laboratorio, piloto e industrial.

Esta técnica en comparación con técnicas de extracción convencional ofrece los siguientes beneficios: reducción en los tiempos de extracción y en el consumo de disolventes orgánicos, el incremento en los rendimientos de extracción y la obtención de un extracto de mayor calidad. Estos beneficios redundan en un impacto positivo en términos económicos, dado que el gasto energético es menor y además un disolvente de bajo costo como el agua, ha mostrado los mejores resultados. (Carbognell-Capella *et al.*, 2017; Ameer *et al.*, 2017; Periche *et al.*, 2015).

Sin embargo, la técnica presenta algunas desventajas que están relacionadas con la potencia de operación de las microondas, ya que, a pesar de que una alta potencia (500–900 W) genera una tasa de extracción rápida, disminuye el rendimiento de los compuestos extraídos a causa de la degradación producida en los mismos. Por el contrario, aunque el uso de una baja potencia (300 W) incrementa la recuperación de los compuestos de interés; disminuye las tasas de extracción, obstaculizando la extracción completa de los glucósidos de estevia (Kovacevic, *et al.*, 2018).

Para finalizar debe establecerse que una de las mayores limitaciones de la técnica, está relacionada con su uso industrial, debido a los altos costos que implica la adquisición de un equipo de microondas de esta magnitud (Koubaa, *et al.*, 2015).

Extracción asistida por ultrasonido

La aplicación de ultrasonido en un proceso de extracción conlleva a un incremento en su eficiencia y velocidad, reduciendo los tiempos y temperaturas de operación. Esta tecnología presenta diversas ventajas, entre las que se encuentran, una mejor transferencia de masa, diversidad de equipos, alta reproducibilidad, menor consumo de disolventes y un menor

impacto ambiental (Zlabur *et al.* 2015). Entre ellas, el menor consumo de disolventes se fundamenta en el hecho, que la EAU puede aplicarse con pequeños volúmenes de disolventes (1–15 mL) a presión atmosférica, temperatura ambiente y durante un tiempo de extracción muy corto. Adicionalmente, se puede mencionar que la EAU es un sistema de extracción simple y económico en su mantenimiento, que puede operarse rápidamente con una gran variedad de disolventes, aún a escala industrial (Koubaa *et al.*, 2015).

La técnica presenta desventajas asociadas con la potencia de operación del ultrasonido, dado que en el rango de los 300–360 W se reportan incrementos en el rendimiento de extracción de Reb-A, pero en potencias de 400–480 W, se genera una disminución del mismo (Gasmalla, Yang & Hua, 2015). El menor efecto del ultrasonido a alta potencia podría explicarse desde el efecto de vibración generado, que además de romper las paredes celulares puede generar un movimiento de partículas, mismo que produciría rutas de evacuación para el disolvente a través del lecho de extracción, reduciendo la eficiencia del proceso (Liu, Li & Tang, 2010).

Finalizando el tema, se puede establecer que la exposición de los productos al ultrasonido puede implicar una degradación de compuestos, por cuanto la definición de las mejores condiciones de operación, es imperativa. Adicionalmente, se ha reportado la presencia de sabores extraños en materias primas con un alto contenido lipídico, situación que puede perjudicar su aceptación sensorial; y aunque no es aplicable para la estevia, es importante tenerlo en cuenta para otro tipo de aplicaciones (Koubaa *et al.*, 2015).

Extracción con fluidos supercríticos

La extracción con fluidos supercríticos es una alternativa atractiva para obtener un extracto

de stevia que no contenga constituyentes indeseados o que alteren su sabor, es decir, un extracto de mayor calidad (Erkucuk, Akgun & Yesil-Celiktas, 2009). A esta técnica también son aplicables las ventajas asociadas a su carácter "verde" (reducción de tiempo de procesamiento, menor consumo energético, etc.) y al incremento en los rendimientos de extracción.

Aunque hay algunas aplicaciones industriales para la EFS (extracción de nicotina, cafeína, y teína), el uso de EFS en la industria alimentaria sigue siendo limitado por sus altos costos de equipo e instalación (Koubaa *et al.*, 2015). Sin embargo, autores como Erkucuk, Akgun & Yesil-Celiktas (2009) sostienen que, al realizar una comparación entre los costos asociados a la EFS y un método de extracción convencional, el costo de capital en la EFS es más alto por la cuestión de la inversión en equipos, pero es menor en lo que se refiere a la operación del mismo, ya que; en el sistema convencional el costo energético que acarrea la evaporación de agua, es muy alto. Por el contrario, Koubba *et al.* (2015) establece que la EFS tiene un alto costo de procesamiento, relacionado principalmente con el alto consumo de CO₂, que en la mayoría de los casos se pierde al final de la extracción y no se recicla.

Extracción asistida con enzimas

La extracción asistida por enzimas minimiza el uso de disolventes orgánicos, y también es una alternativa "verde", que puede mejorar la disponibilidad de material intracelular debido a la degradación de las paredes celulares de la planta (Koubaa *et al.*, 2015).

Muchos de los métodos de extracción convencionales, tanto de Reb-A como de esteviósidos, emplean disolventes químicos como soluciones de cloroformo-metanol o propilenglicol, seguido de una decolorización, coagulación y cristalización, dando como resultado unos

rendimientos bajos en el proceso. Como tecnología verde, la EAA permite aumentar los rendimientos de extracción de compuestos bioactivos, sin hacer uso de disolventes químicos u orgánicos.

De igual manera, hay que tener en cuenta que esta tecnología cuenta con limitaciones para su escalado a nivel industrial; los elevados costos de los complejos enzimáticos, las exigentes condiciones de operación (bajas temperaturas, disponibilidad de oxígeno, homogeneidad con el sustrato) y la inhabilidad para degradar completamente la pared celular del material vegetal, hacen que la EAA sea una alternativa con obstáculos a nivel técnico y comercial. Aun así, al solventar dichas limitaciones, la EAA es considerada como un método de extracción que no sólo incrementa los rendimientos de Reb-A y esteviósidos en el extracto, sino que también mejora considerablemente su calidad sensorial.

CONCLUSIONES

La EAM, EAU, EFS y EAA son técnicas de extracción alternativas a los métodos sólido-líquido convencionales, consideradas verdes, por cuanto generan un menor impacto ambiental, al requerir menores tiempos de tratamiento, reducir el consumo energético y el uso de disolventes orgánicos.

La EAM, EAU, EFS y EAA, generan mayores rendimientos de extracción de esteviósido y Reb-A en comparación con las técnicas de extracción convencional, sólido-líquido con agua caliente, Soxhlet y maceración fría.

EAU y EFS generaron los mayores rendimientos de extracción con valores de, 96,49 mg (esteviósido/g de extracto) y 36,92 mg (Reb-A/g de extracto), y 95,76 mg (esteviósido/g materia seca) y 62,95 mg (Reb-A/g materia seca); respectivamente, en comparación con EAM y EAA.

La maceración dinámica, la extracción con disolvente acelerado, la extracción dinámica sólido-líquido rápida, la extracción con agua subcrítica, la turbo extracción y la extracción con agua caliente presurizada; son alternativas “verdes” que se usan hace poco o en pocas ocasiones para la extracción de glucósidos de estevia. Adicionalmente tienen rendimientos superiores a los reportados por EAM, EAU, EFS y EAA, específicamente para el caso de la extracción de agua caliente presurizada donde se obtuvieron 1448,3 mg de esteviósido/100 g de extracto y 1442,1 mg Reb-A/100 g de extracto.

LITERATURA CITADA

- Adari, B.R., Alavala, S., George, S.A., Meshram, H.M., Tiwari, A.K. & Sarma, A.V. (2016). Synthesis of rebaudioside-A by enzymatic transglycosylation of stevioside present in the leaves of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Food Chemistry*, 200, 154-158.
- Ameer, K., Bae, S.W., Jo, Y., Chung, N., Gao, Y. & Kwon, J.H. (2017). Optimization and modeling for heat reflux extraction of total yield, stevioside and rebaudioside-A from *Stevia rebaudiana* (Bertoni) leaves. *Separation Science and Technology*, 52(7), 1193-1205.
- Ameer, K., Bae, S.W., Jo, Y., Lee, H.G., Ameer, A. & Kwon, J.H. (2017). Optimization of microwave-assisted extraction of total extract, stevioside and rebaudioside-A from *Stevia rebaudiana* (Bertoni) leaves, using response surface methodology (RSM) and artificial neural network (ANN) modelling. *Food Chemistry*, 229, 198-207.
- Ameer, K., Chun, B.S. & Kwon, J.H. (2017). Optimization of supercritical fluid extraction of steviol glycosides and total phenolic content from *Stevia rebaudiana* (Bertoni) leaves using response surface methodology and artificial neural network modeling. *Industrial Crops and Products*, 109, 672-685.
- Barrales, F.M., Alves, C., & Martinez, J. (2015). Supercritical CO₂ extraction of passion fruit (*Passiflora edulis* sp.) seed oil assisted by ultrasound. *The Journal of Supercritical Fluids*, 104, 183-192.
- Barrera-Vázquez, M.F. (2015). Métodos alternativos para la extracción y purificación de productos naturales de interés para la industria farmacéutica [Tesis Doctoral, Ciencia de la Ingeniería]. Córdoba (Argentina): Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 203 p.
- Carbonell-Capella, J.M., Buniowska, M., Esteve, M.J. & Frígola, A. (2015). Effect of *Stevia rebaudiana* addition on bioaccessibility of bioactive compounds and antioxidant of beverages based on exotic fruits mixed with oat following simulated human digestion. *Food Chemistry*, 184, 122-130.
- Carbonell-Capella, J.M., Zlabur, J.S., Brncic, S.R., Barba, F.J., Grimi, N., Koubaa, M., Brncic, M., & Vorobiev, E. (2017). Electrotechnologies, microwaves, and ultrasound combined with binary mixtures of ethanol and water to extract steviol glycosides and antioxidant compounds from *Stevia rebaudiana* leaves. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41 (5), 1 – 8.
- Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A.G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A., & Abert-Vian, M. (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 540-560.
- Chemat, F., Vian, M.A., & Cravotto, G. (2012). Green extraction of natural products: concept and principles. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(7), 8615-8627.
- Chen, J.M., Ding, L., Sui, X.C., Xia, Y.M., Wan, H.D. & Lu, T. (2016). Production of a bioactive sweetener steviolbioside via specific hydrolyzing ester linkage of stevioside with a β -galactosidase. *Food Chemistry*, 196, 155-160.
- Edwards, C.H., Rossi, M., Corpe, C.P., Butterworth, P.J & Ellis, P.R. (2016). The role of sugars and sweeteners in food, diet and health: Alternatives for the future. *Trends in Food Science & Technology*, 56, 158-166.
- Erkucuk, A., Akgun, I.H. & Yesil-Celiktas, O. (2009). Supercritical CO₂ extraction of glycosides from *Stevia rebaudiana* leaves: Identification and optimization. *The Journal of Supercritical Fluids*, 51(1), 29-35.
- Esclapez, M.D., García-Pérez, J.V., Mulet, A. & Cárcel, J.A. (2011). Ultrasound-Assisted Extraction of Natural Products. *Food Engineering Reviews*, 3, 108-120.

- Estel, L., Poux, M., Benamara, N. & Polaert, I. (2017). Continuous flow-microwave reactor: Where are we? *Chemical Engineering and Processing*, 113, 56-64.
- Flores, J.C., & De Almeida, M.A. (2016). Construction of a supercritical fluid extraction (SFE) equipment: validation using annatto and fennel and extract analysis by thin layer chromatography coupled to image. *Food Science and Technology (Campinas)*, 36(2), 210-247.
- Gallo, M., Vitulano, M., Andolfi, A., DellaGreca, M., Conte, E., Ciaravolo, M. & Naviglio, D. (2017). Rapid solid-liquid dynamic extraction (RSLDE): a new rapid and greener method for extracting two steviol glycosides (stevioside and rebaudioside A) from stevia leaves. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72(2), 141-148.
- Gasmalla, M.A., Yang, R. & Hua, X. (2015). Extraction of rebaudioside-A by sonication from *Stevia rebaudiana* Bertoni leaf and decolorization of the extract by polymers. *Journal of Food Science and Technology*, 52(9), 5946-5953.
- Gasmalla, M.A., Yang, R., Musa, A., Hua, X., & Ye, F. (2014). Influence of sonication process parameters to the state of liquid concentration of extracted rebaudioside A from *Stevia rebaudiana bertoni* leaves. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, 726-731.
- Hinojosa-Gonzalez, J.J., Tun-Navarrerete, A., Canul-Lopez, A., Ruiz-Mercado, C., Rocha-Uribe, J. A., y Betancur-Ancona, D. (2017). Extracción de glucósidos edulcorantes de *Stevia rebaudiana* Bertoni por métodos de fluidos supercríticos. *JONNPR*, 2 (5), 202-209.
- Ijaz, M., Masood, A.P., Saqib, M., & Latif, M.M. (2015). *Stevia rebaudiana*: An alternative sugar crop in Pakistan – a review. *Journal of medicinal and spice plants*, 20(2), 88-96.
- Javad, S., Naz, S., Ilyas, S., & Javed, S. (2014). Optimization of the microwave assisted extraction and its comparison with different conventional extraction methods for isolation of stevioside from *Stevia rebaudiana*. *Asian Journal of Chemistry*, 26(23), 8043-8048.
- Jentzer, J.B., Alignan, M., Vaca-García, C., Rigal, L., & Vilarem, G. (2015). Response surface methodology to optimize accelerated solvent extraction of steviol glycosides from *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves. *Food Chemistry*, 166, 561-567.
- Khattab, S.N., Massoud, M.I., Jad, Y., Bekhit, A.A. & El-Faham, A. (2015). Production and physico-chemical assessment of new stevia amino acid sweeteners from the natural stevioside. *Food Chemistry*, 173, 979-985.
- Koubaa, M., Roselló-Soto, E., Zlabur, J., Jambrak, A., Brncic, M., Grimi, N., Boussetta, N. & Barba, F.J. (2015). Current and new insights in the sustainable and green recovery of nutritionally valuable compounds from *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Agricultural and Food Chemistry*, 63(31), 6835-6846.
- Kovacevic, D.B., Barba, F.J., Granato, D., Galanakis, C.M., Herceg, Z., Dragovic-Uzelac, V., & Putnik, P. (2018). Pressurized hot water extraction (PHWE) for the green recovery of bioactive compounds and steviol glycosides from *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves. *Food Chemistry*, 254, 150-157.
- Kovacevic, D.B., Maras, M., Barba, F.J., Granato, D., Roohinejad, S., Mallikarjunan, K., Montesano, D., Lorenzo, J.M. & Putnik, P. (2018). Innovative technologies for the recovery of phytochemicals from *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves: a review. *Food Chemistry*, 268, 513 – 521.
- Le Donne, C., Mistura, L., Goscinny, S., Janvier, S., Cuypers, K., D'Addezio, L., Stte, S., Catasta, G., Ferrari, M., Piccinelli, R., Van Loco, J., & Turrini, A. (2017). Assessment of dietary intake of 10 intense sweeteners by the Italian population. *Food and Chemical Toxicology*, 102, 186-197.
- Li, H., Zhang, Y., Yao, M., Wang, Y., Yang, Y., & Gao, W. (2017). An improved modeling on convection heat transfer of supercritical fluids for several advanced energy systems. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 111, 771-781.
- Liu, J., Li, J., & Tang, J. (2010). Ultrasonically assisted extraction of total carbohydrates from *Stevia rebaudiana* Bertoni and identification of extracts. *Food and Bioprocesses Processing*, 88 (2-3), 215-221.
- Lobete, M.M., Baka, M., Noriega, E., Jookan, E., Monballiu, A., de Beurme, S., Meesschaert, B., & Van Impe, J.F. (2017). *Stevia*-based sweeteners as a promising alternative to table sugar: The effect on *Listeria monocytogenes* and *Salmonella Typhimurium* growth dynamics. *International Journal of Food Microbiology*, 245, 38-52.
- Martins, P.M., Lanchote, A.D., Thorat, B.N. & Freitas A.P. (2017). Turbo-extraction of glycosides from *Stevia rebaudiana* using a fractional factorial design. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, 27, 510-518.

- Martins, P.M., Thorat, B.N., Lanchote, A.D., & Freitas A.P. (2016). Green extraction of glycosides from *Stevia rebaudiana* (Bert.) with low solvent consumption: A desirability approach. *Resource-Efficient Technologies*, 2(4), 247-253.
- Mooradian, A.D., Smith, M. & Tokuda, M. (2017). The role of artificial and natural sweeteners in reducing the consumption of table sugar: A narrative review. *Clinical Nutrition ESPEN*, 18, 1-8.
- Oliveira, D.A., Angonese, M., Gomes, C., & Ferreira, R.S. (2016). Valorization of passion fruit (*Passiflora edulis* sp.) by-products: Sustainable recovery and biological activities. *The Journal of Supercritical Fluids*, 111, 55-62.
- Periche, A., Castelló, M.L., Heredia, A., & Escriche, I. (2015). Influence of extraction methods on the yield of steviol glycosides and antioxidants in *Stevia rebaudiana* extracts. *Plant Foods Hum Nutr*, 70(2), 119-127.
- Prakash, I., Ma, G., Bunders, C., Charan, R.D., Ramirez, C., Devkota, K.P., & Snyder, T.M. (2017). A novel diterpene glycoside with nine glucose units from *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Biomolecules*, 7(1), 1-10.
- Puri, M., Sharma, D., Barrow, C.J., & Tiwary, A.K. (2012). Optimisation of novel method for the extraction of steviosides from *Stevia rebaudiana* leaves. *Food Chemistry*, 132(3), 1113-1120.
- Rai, C., Majumdar, G.C., & De, S. (2012). Optimization of Process Parameters for Water Extraction of Stevioside using Response Surface Methodology. *Separation Science and Technology*, 47 (7), 1014-1022.
- Rao, A.B., George, S.A., Alavala, S., Meshram, H.M. & Shekar, K.C. (2015). Metal Salts Assisted Enzyme-Based Extraction of Stevioside from the Leaves of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 6(12), 734-743.
- Santos, R.M., Oliveira, N.M., Oliveira, E.J., Azevedo, H.G., Jesus, A.A., Madeiros, A.M., Dariva, C. & Sousa M.B.D. (2017). Supercritical fluid extraction of *Rumex Acetosa* L. roots: Yield, composition, kinetics, bioactive evaluation and comparison with conventional techniques. *The Journal of Supercritical Fluids*, 122, 1-9.
- Spohner, S.C. & Czermak, P. (2016). Enzymatic production of prebiotic fructo-oligosteviol glycosides. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 131, 79-84.
- Sylvetsky, A.C. & Rother, K.I. (2016). Trends in the consumption of low-calorie sweeteners. *Physiology & Behavior*, 164, 446-450.
- Teo, C.C., Tan, S.N., Yong, J.W., Hew, C.S. & Ong, E.S. (2009). Validation of green-solvent extraction combined with chromatographic chemical fingerprint to evaluate quality of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Journal of Separation Science*, 32(4), 613-622.
- Venturi, F., Sanmartin, C., Taglieri, I., Andrich, G. & Zinnai, A. (2017). A Simplified Method to Estimate Sc-CO₂ Extraction of Bioactive Compounds from Different Matrices: Chili Pepper vs. Tomato By-Products. *Applied Sciences*, 7(4), 361-372.
- Wang, Y., Chen, L., Li, Y., Yan, M., Chen, K., Hao, N., & Xu, L. (2016). Efficient enzymatic production of rebaudioside A from stevioside. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*. 80(1), 67-73.
- Wolwer-Rieck, U. (2012). The leaves of *Stevia rebaudiana* (Bertoni), their constituents and the analyses thereof: A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(4), 886-895.
- Yildiz-Ozturk, E., Nalbantsoy, A., Tag, O. & Yesil-Celiktas, O. (2015). A comparative study on extraction processes of *Stevia rebaudiana* leaves with emphasis on antioxidant, cytotoxic and nitric oxid inhibition activities. *Industrial Crops and Products*, 77, 961-971.
- Yildiz-Ozturk, E., Tag, O. & Yesil-Celiktas, O. (2014). Subcritical water extraction of steviol glycosides from *Stevia rebaudiana* leaves and characterization of the raffinate phase. *Journal of Supercritical Fluids*, 95, 422-430.
- Zekovic, Z., Pintac, D., Majkic, T., Vidovic, S., Mimica-Dukic, N., Teslic, N., Versari, A., & Pavlic, B. (2017). Utilization of sage by-products as raw material for antioxidants recovery – Ultrasound versus microwave-assisted extraction. *Industrial Crops and Products*, 99, 49-59.
- Zlabur, J.S., Voca, S., Dobricevic, N., Brncic, M., Dujmic, F., & Brncic, R. (2015). Optimization of ultrasound assisted extraction of functional ingredients from *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves. *International Agrophysics*, 29(2), 231-237.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons
Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

ADAPTABILIDAD DE HÍBRIDOS PRECOMERCIALES TROPICALES DE MAÍZ EN EL BAJÍO DE GUANAJUATO, MÉXICO

ADAPTABILITY OF TROPICAL PRE-COMERCIALS HYBRIDS OF CORN IN THE BAJIO OF GUANAJUATO, MEXICO

J. Guadalupe García Rodríguez¹, Mariano Mendoza-Elos², Francisco Cervantes Ortiz³, Juan Gabriel Ramírez-Pimentel⁴, Cesar Leobardo Aguirre-Mancilla⁵, Marco Antonio García-Perea⁶, María Guadalupe Figueroa Rivera⁷, Gilberto Rodríguez Pérez⁸, Sergio A. Rodríguez-Herrera⁹

¹ Maestro en ciencias en Producción y Tecnología de semillas, ² Doctor en Ciencias en Fitomejoramiento, ³ Doctor en Ciencias en Producción de Semillas, ⁴ Doctor en Ciencias en Alimentos, ⁵ Doctor en Ciencias en Biotecnología de Plantas, ⁶ Doctor en Ciencias en Genética, ⁷ Doctora en Ciencias en Materiales, ⁸ Doctor en Ciencias Agrícolas, ⁹ Doctor en Ciencias Agrarias, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

^{1,2,3,4,5,7,8} Instituto Tecnológico de Roque. México, ⁷ Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, México, ⁹ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila

Autor de correspondencia: mmendoza66@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue identificar la mejor fecha de siembra de nuevas variedades experimentales de maíz y seleccionar los mejores genotipos. El trabajo se realizó en el campo experimental del Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Gto. El material genético de maíz fue un ensayo de variedades procedentes del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), evaluado durante dos fechas de siembra: 25 de junio de 2016 (temporal) y 25 de marzo de 2017 (riego). Se midieron las variables: días a la floración masculina y femenina, altura de planta, altura de mazorca y rendimiento. Estas fueron analizadas con base en el modelo del diseño Látxice con tres repeticiones;

la comparación de medias se realizó mediante la prueba de diferencia mínima significativa (DMS). Los resultados indican diferencias estadísticas altamente significativas para tratamientos y fechas de siembra. La mejor fecha de siembra fue el 25 de marzo al favorecer una producción de 12.4 t ha⁻¹ (12 %), más que la fecha de siembra 25 de junio, que alcanzó 11.1 t ha⁻¹. En rendimiento de grano, los genotipos 9 (RS98TLW-5 B) y 6 (RS98TLW-2 B) fueron los mejores presentando rendimientos de 13.0 y 14.0 t ha⁻¹, respectivamente.

Palabras clave: Adaptabilidad, fechas de siembra, variedades

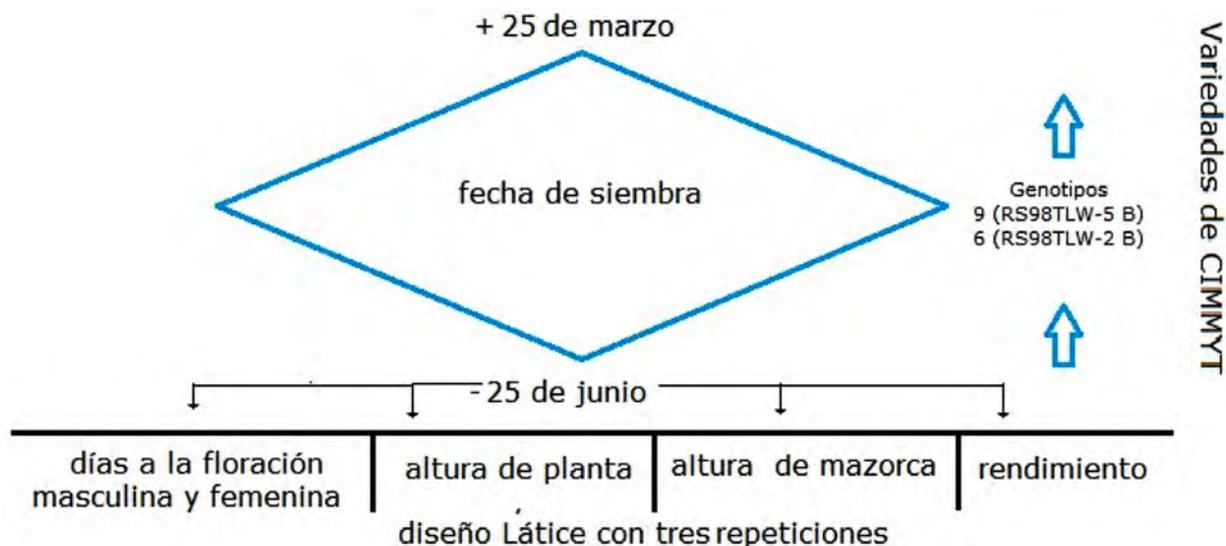
SUMMARY

The objective of the present study was to identify the best sowing date for new experimental varieties of corn and also, to select the best corn genotypes. The work was carried out in the experimental field of the Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Gto., Mexico. The corn genetic material was provided by CIMMYT and evaluated for two sowing dates, June 25th (rainfed) and March 25th (irrigation) of 2016 and 2017, respectively. The following variables were measured: days at male and female flowering, plant height, cob height and yield. The study was conducted as a Lattice experimental design with three replicates. Mean

comparison was performed by Least Significant Difference (LSD). Statistically significant differences for treatments and sowing dates were detected. The best sowing date was March 27th, favoring a corn grain production of 12.4 t ha⁻¹ (12%, moisture content basis), compared to the 11.1 t ha⁻¹ yield for June 25th sowing date. In grain yield, the genotypes 9 (RS98TLW-5 B) and 6 (RS98TLW-2 B) were the best with recoveries of 13.0 and 14.0 t ha⁻¹, respectively.

Key words: Adaptability, dates of sowing, varieties

Resumen gráfico



INTRODUCCIÓN

A nivel mundial y nacional, el cultivo de maíz ocupa el primer lugar en superficie sembrada. El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) en junio de 2015 estimó una producción mundial de 989.3 millones de toneladas. México se encuentra en el séptimo lugar con una producción de 2.3 % (USDA, 2015). El estado de

Guanajuato cuenta con una gran superficie para la producción de grano de maíz; sin embargo, el estado es considerado una región semiárida con graves problemas de agua; cabe mencionar que de las 385,743 has que se han sembrado con anterioridad, 69.89 % son de temporal y 30.11 % son de riego (SIAP, 2017). González (1995) menciona que, del total de

maíz utilizado en el país, 59 % se consume en tortillas, 36 % se destina a otros usos (animal y semillas) y 5 % es procesado por la industria almidonera. El consumo per cápita es de 300 g día⁻¹, con lo cual se aporta el 56 % de las calorías y el 47 % de las proteínas de la alimentación del mexicano. En áreas rurales, estos porcentajes son 70 % y 56 %, respectivamente.

Las características y comportamiento que debe reunir una nueva variedad mejorada son las que determinan su identidad y uniformidad; cuyos rasgos morfológicos, fisiológicos o químicos permiten diferenciarlas de otras variedades, a pesar de la similitud debida a las pequeñas diferencias genéticas (Copeland, 1976). Además, la Asociación de Analistas Oficiales de Semillas (AOSA) señalan en su definición de variedad "que los caracteres varietales deben cumplir con tres funciones específicas: diferente, en el sentido de que la variedad se puede identificar por una o más características morfológicas, físicas o de otro tipo que las distinguen de las otras variedades conocidas; uniforme, en el sentido de que se pueden describir la variación de las características esenciales y típicas; y estable, por cuanto la variedad permanecerá sin cambios y tendrá un grado razonable de confiabilidad en sus características esenciales y típicas, y en su uniformidad al producirla o reconstruirla según lo exigen las diferentes categorías de la variedad".

Molina (1992) indica que la inconsistencia del comportamiento de las variedades a través de ambientes de evaluación, puede tener su origen en el grado de diversidad de los genotipos y de los ambientes de prueba, también señala, que tal inestabilidad es producto de la interacción genotipo-ambiente no lineal, por lo que la dirección y magnitud resultantes, en general, es impredecible. Por su parte, Palomo (1976)

menciona que al evaluar diferentes variedades en un ambiente, las diferencias observadas entre las variedades se confunden con los efectos de la interacción genotipo-ambiente; y para recomendar una variedad en una región, es necesario evaluar varias variedades en una muestra adecuada de ambientes.

Por lo anterior, los objetivos de esta investigación fueron: 1) identificar la mejor fecha de siembra en variedades de maíz y 2) seleccionar los mejores genotipos de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Gto., durante 2016 y 2017, ubicado en el km 8 carretera Celaya-Juventino Rosas, cuyas coordenadas son: 20° 34' 00" Latitud norte y 100° 50' 00" Longitud oeste, a una altura de 1765 msnm.

El clima de la región de Roque es BS1 hW (e) semicálido, clasificación de Köppen, modificada por García (1973), una altitud de 1767 msnm, considerado como subtropical (INEGI, 2012). La temperatura media anual es de 18 °C, las extremas varían de -0.3 °C hasta 35 °C. La precipitación media anual oscila entre 400 y 700 mm; los suelos son de origen volcánico, ricos en potasio, calcio y magnesio, con textura arcillosa, pobres en materia orgánica, pH de 8.0 (medianamente alcalino), punto de marchitez permanente de 21 % y densidad aparente de 1.2 g cm³ (SARH-INIFAP-PROCA-TI, 1991).

El material genético de maíz utilizado fue un ensayo de variedades del CIMMYT, evaluado en dos fechas de siembra: 25 de junio de 2016 (temporal) y 25 de marzo de 2017 (riego). Los materiales fueron: variedades de tierras tropicales de madurez tardía y grano blanco: 1. RP73NIC1, 2. RP73NIC2, 3. RP76NIC1, 4.

RP76SAL1, 5. RS98TLW-1 B, 6. RS98TLW-2 B, 7. RS98TLW-3 B, 8. RS98TLW-4 B, 9. RS98TLW-5 B, 10. RS98TLW- 1 AB, 11. RS98TLW-2 AB, 12. RS98TLW-3 AB, 13. RS99TLW BN-SEQ (1), 14. RS99TLW BNSEQ (2), 15. RS99TLWQ, 16. RS99 TLWQ-1, 17. RS97 TLW GH "A ", 18. RS97 TLW GH "A y B" (2), además se integraron como testigo 19. P1C2 (T) y 20. ANTILOPE (T).

La preparación del suelo en los dos ciclos se realizó 20 días previos a la siembra. Consistió en un barbecho de 30 cm de profundidad y dos pasos de rastra. Posteriormente, se trazaron los surcos a una distancia de 0.75 m. El tamaño de la unidad experimental fue un surco de 5 m de longitud, con una separación de 0.75 m y entre plantas de 0.20 m. La parcela útil fue de 3.9 m².

La siembra de los genotipos se realizó el 25 de junio del 2016 (temporal) y el 25 de marzo del 2017 (riego). Se llevó a cabo en forma manual, depositando dos semillas por golpe cada 20 cm. El aclareo de plantas se efectuó 45 días después de la siembra, para tener una densidad de 66 500 plantas ha⁻¹.

La fertilización en las dos fechas de siembra fue con la fórmula 240-80-00. Se aplicó la mitad de nitrógeno y todo el fósforo al momento de la siembra; 40 días después se aplicó la otra mitad de nitrógeno. Como fuente de nitrógeno se utilizó urea (46 % N), para fósforo, superfosfato de calcio triple (46 % P₂O₅).

Las variables evaluadas por unidad experimental fueron: días a floración masculina y femenina (DFM, DFF). Consideradas, como el número de días transcurridos desde el día de la siembra hasta observar el 50 +1 % de las

plantas con espigas dehiscentes y estigmas expuestos, respectivamente. Altura de planta y mazorca (AP, AMZ). En la etapa de madurez fisiológica se midió la longitud de tres plantas desde la base de la planta hasta la base de la espiga y el punto de inserción de la mazorca, respectivamente. El rendimiento (REND) en t ha⁻¹ fue estimado en grano y ajustado al 14 % de humedad.

Las variables fueron analizadas con base en el modelo del diseño de Látice con bloques incompletos. La comparación de medias se realizó bajo la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) con el paquete SAS versión 6.12.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza (ANOVA) de las variables bajo estudio para variedades tropicales de maíz y grano blanco. En la fuente de variación fechas de siembra hubo diferencias significativas al 1 por ciento de probabilidad para todas las características, con un coeficiente de variación de 2.6, 2.7, 11.3, 17.7 y 15.4 % para DFM, DFF, AP, AMZ y REND, respectivamente. En la fuente Tratamientos (variedades) también se detectaron diferencias al uno por ciento de probabilidad, lo cual indica que existe variabilidad genética entre los materiales, debido a su origen; esto permite al fitomejorador realizar una selección efectiva de los genotipos. En la interacción fecha de siembra x tratamiento no se encontraron diferencias estadísticas, lo que se atribuyen a la genética de los materiales bajo estudio, al manejo agronómico, ambiente y conducción del experimento (Mendoza *et al.*, 2006; Wong *et al.*, 2007; Cervantes, 2016).

Tabla 1. Cuadrados medios del ANOVA combinado en variedades de maíz tropicales y grano blanco en el 2016 y 2017 en la localidad de Celaya, Guanajuato, México.

Fuente de Variación	Gl	DFM (días)	DFF (días)	AP (m)	AMZ (m)	REND (t ha ⁻¹)
Fechas	1	4800.7 **	5386.8 **	0.99 **	0.75 **	52.1 **
Bloque	6	7.5	6.62	0.01	0.01	2.3
Tratamiento	19	16.9 **	18.3 **	0.11 **	0.14 **	12.3 **
Fecha x Tratamiento	19	5.8 NS	5.3 NS	0.03 NS	0.03 *	4.9 NS
Error	74	3.7	4.0	0.04	0.02	3.3
Total	116	-----	-----	-----	-----	-----
C. V. (%)	----	2.6	2.7	11.3	17.7	15.4

*,**, Significativo al 0.05 y 0.01, respectivamente. Gl = Grados de libertad; AP = Altura de la planta. NS = No significativo. AMZ = Altura de la mazorca. DFM = Días a la floración masculina.

DFF = Días a la floración femenina REND = Rendimiento.

Para la fecha de siembra establecida el 25 de marzo (riego), los genotipos presentaron una respuesta de ciclo vegetativo tardío con 80 y 82 días a floración masculina y femenina, respectivamente. De igual manera, el promedio para altura de planta también se incrementó en forma estadística. En el caso del rendimiento, esta fecha (riego) superó en 1.3 t ha⁻¹ a la siembra realizada el 25 de junio, en esta última fecha influyeron las condiciones de precipitación, fotoperíodo y humedad, afectando a todas las variables

bajo estudio (Tabla 2). Al respecto, Reyes (1990) propone que la mejor fecha de siembra para variedades tardías e intermedias en el Bajío corresponde del 15 de marzo al 30 de mayo. Y para este mismo ambiente, las fechas de siembra propuestas para temporal son en el mes de junio y julio. Se puede observar en esta misma tabla, que el ciclo a madurez traducido con días a floración y alturas de planta y mazorca se acortan en esta fecha, resultados que coinciden con Alejo *et al.* (2006) y Almaraz (2015).

Tabla 2. Prueba de medias de las características evaluadas a través de dos años en variedades tropicales y grano blanco de maíz en Celaya, Guanajuato, México.

Fechas de siembra	DFM (días)	DFF (días)	AP (m)	AMZ (m)	REND (t ha ⁻¹)
25/marzo/2017 (riego)	80 a	82 a	1.76 a	0.80 a	12.4 a
25/junio/2016 (temporal)	68 b	68 b	1.57 b	0.64 b	11.1 b
DMS (5%)	0.7	0.7	0.05	0.03	0.4

Letras iguales indican que no hay diferencia estadística entre fechas. DFM = Días a la floración masculina. DFF = Días a la floración femenina. AP = Altura de planta. AMZ = Altura de mazorca. REND = Rendimiento.

En la Tabla 3 se presenta la prueba DMS al $\alpha=0.05$ para DFM, se observa que el testigo 19 presentó la emisión de polen en un período máximo de 78 días. En tanto que el testigo 20 lo emitió a los 70

días; la diferencia fue de ocho días. El genotipo 14 resultó estadísticamente igual al testigo 19, y representa el 5 % del universo de los genotipos. El 100 % resultaron de ciclo intermedio,

al variar de 71 a 76 días con respecto al testigo 20 (70 días); la diferencia entre ellos oscila de uno a cinco días. Estos resultados coinciden con CIMMYT (2015) al evaluar ensayos de variedades subtropicales en Roque, Celaya, Gto. Al respecto, Reyes (1990) y CIMMYT (1999) indican que las variedades de maíz tardías emiten polen de 81 a 90 días, las intermedias de 71 a 80 y las precoces de 60 a 70 días.

Tabla 3. Medias para las variables agronómicas evaluadas en variedades de maíz tropicales en 2016 y 2017 en la localidad de Celaya, Gto., México.

TRATAMIENTO	DFM (días)	DFF (días)	AP (m)	AMZ (m)	REND (t ha ⁻¹)
20	70	72	1.73	0.75	14.9
6	73	73	1.67	0.67	14.0
9	74	75	1.62	0.65	13.0
19	78	79	2.16	1.33	12.7
18	74	75	1.69	0.69	12.7
11	74	75	1.65	0.65	12.5
13	74	75	1.77	0.74	12.4
16	74	76	1.45	0.60	12.0
8	73	73	1.58	0.66	12.0
14	76	75	1.65	0.80	11.8
17	75	77	1.59	0.73	11.7
5	75	75	1.62	0.70	11.5
12	75	76	1.63	0.64	11.4
7	71	71	1.61	0.70	11.1
10	75	75	1.70	0.71	11.0
15	75	75	1.60	0.60	11.0
3	73	74	1.67	0.75	10.2
2	74	76	1.66	0.73	9.9
4	73	74	1.62	0.65	9.6
1	74	75	1.59	0.65	9.0
Media	74	75	1.66	0.72	11.7
DMS (5 %)	2.2	2.3	0.22	0.15	2.1

DFM = Días a la floración masculina, AMZ = Altura de mazorca. DFF = Días a la floración femenina. REND = Rendimiento. AP = Altura de planta.

Para DFF se detectaron cinco grupos estadísticos. El testigo 19 presentó los estigmas receptivos en un máximo de 79 días, mientras que el tratamiento 7 los emitió a los 71 días. El genotipo 17 con 77 días, resultó estadísticamente igual al genotipo 19. Los genotipos 6, 7 y 8 con un día de diferencia, resultaron estadísticamente igual al testigo 20, y equivalen al 17 % del total; en tanto que el 100 % de ellos se comportaron de ciclo intermedio, con un rango de 71 a 79 días. Estas evidencias coinciden con Balderas (1991) y CIMMYT (2015). Al respecto, López (1991) indica que la velocidad y calidad del desarrollo floral deben estar en equilibrio para que exista una sincronización entre la emisión de polen y la aparición de los estigmas.

El testigo 19 alcanzó la altura máxima de 2.16 m, fue 0.39 m más alto que el segundo grupo representado por el genotipo 13, con 1.77 m. Mientras que el genotipo 16 presentó la menor altura de planta con 1.45 m. El 94 % de los genotipos en estudio igualaron estadísticamente al testigo 20 con 1.73 m y presentaron una media general de 1.66 m.

En la comparación de medias (DMS $\alpha=0.05$) para altura de mazorca, se definieron cuatro grupos estadísticos. El testigo 19 fue el tratamiento que presentó la altura de mazorca mayor con 1.33 m, 32 % superior que el segundo grupo, representado por el genotipo 14, con 0.80 m. Los genotipos 15 y 16 mostraron una altura de 0.60 m, la diferencia fue de 25 a 55 %, respectivamente. Los genotipos presentaron una media general de 0.72 m.

En la Figura 1 se muestra la comparación de medias de la interacción fechas x tratamientos, donde se observa que el genotipo 6 presentó en las dos fechas de siembra igual altura de mazorca (0.67 m); el genotipo 11 en la fecha de siembra de 25 de junio (temporal) presentó

mayor altura. Con relación a la fecha de 25 de marzo (riego), las plantas presentaron menor altura de mazorca (0.63 m), con una diferencia entre ellos de 6 %. También se aprecia el mismo patrón de comportamiento en altura de mazorca, la cual es afectada por las condiciones climáticas y edáficas. Los genotipos 6, 8, 10, 11 y 12 presentaron una respuesta uniforme en las dos fechas de siembra, por lo tanto, el aspecto genético juega un papel

importante en la plasticidad o respuesta al ambiente. Sin embargo, los genotipos 2, 3, 14 y el testigo 19 en la fecha de 25 de marzo, presentaron una respuesta mejor a las condiciones ambientales, debido a que alcanzaron mayor altura del punto de inserción de la mazorca, la cual es una desventaja cuando se realiza la cosecha mecánica. Con base en la floración, estos genotipos podrían clasificarse como de ciclo intermedio.

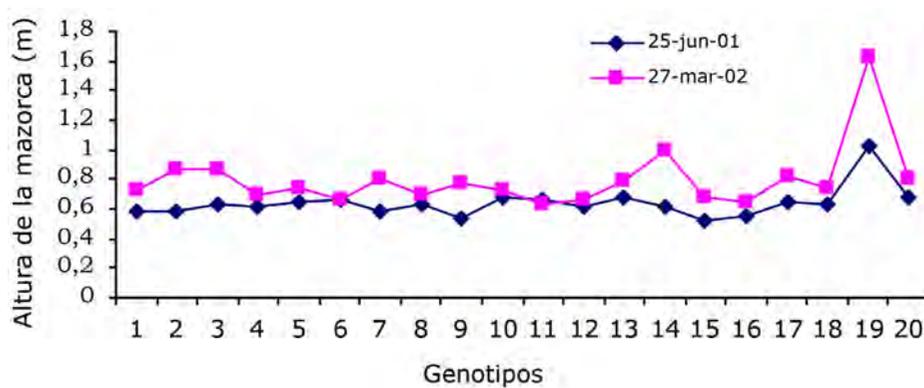


Figura 1. Comparación de medias de la interacción fechas x tratamientos para AMZ de genotipos tropicales de maíz en el 2016 y 2017 en Celaya, Gto., México.

En la variable REND en promedio de los dos años de evaluación, el testigo 20 presentó el rendimiento máximo (14.9 t ha^{-1}). Mientras que el genotipo 1 mostró el rendimiento mínimo (9.0 t ha^{-1}), la diferencia fue de 5.9 t ha^{-1} . Los genotipos 9 y 6, con rendimientos de 13.0 a 14.0 t ha^{-1} , igualaron estadísticamente al testigo 20, y representan al 10 % del total evaluado. Resultados estadísticamente similares se encontraron en las variables DFM y DFF, esto permite realizar la selección de los genotipos 9 y 6, como los sobresalientes a nivel experimental para estos caracteres. Los genotipos 14, 8, 16, 13, 11 y 18, presentaron un rendimiento aceptable con valores de 11.8 a 12.7 t ha^{-1} .

Estos resultados demuestran que no existe una relación positiva, es decir, los genotipos

con mayor altura no son los más productivos, en concordancia con Sinchi (1991). Por ejemplo, el genotipo 9 presentó una altura de planta de 1.62 m y rendimiento de 13.0 t ha^{-1} , el 6 con 1.67 m de altura produjo 14.0 t ha^{-1} y el testigo 20 con 1.73 m de altura arrojó un rendimiento de 14.9 t ha^{-1} . Por otro lado, el genotipo 19 con una altura de 2.16 m presentó un rendimiento menor a 2.2 t ha^{-1} , y el genotipo 13 con altura de 1.77 m presentó 1.6 t ha^{-1} menos que el genotipo 6.

CONCLUSIONES

La mejor fecha de siembra para las variables evaluadas y para rendimiento de grano fue el 25 de marzo (riego) al favorecer una producción de 1.3 t ha^{-1} (12 %), más que la fecha de siembra 25 de junio (temporal) que alcanzó 11.1 t ha^{-1} .

En rendimiento de grano, los genotipos 9 y 6 presentaron 13.0 y 14.0 t ha⁻¹, respectivamente, estadísticamente igual al testigo (14.9 t ha⁻¹), y los genotipos 16 y 18 con 12.0 y 12.7 t ha⁻¹, se ubicaron por arriba de la media general (11.7 t ha⁻¹).

LITERATURA CITADA

- Almaraz, V.C.A. (2017). Comportamiento agronómico y de calidad de semilla de maíces híbridos tropicales y subtropicales. Tesis de Maestría. Producción y Tecnología de Semillas. Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Gto., México. 71 p.
- Alejos, G., Monasterio, P., y Rea, R. (2006). Análisis de la interacción genotipo ambiente para el rendimiento de maíz en la región maicera del estado de Yaracuy, Venezuela. *Agron. Trop.* 56(3):369-384.
- Balderas, P, G. (1991). Caracterización de líneas y cruza de maíz y su comportamiento agronómico en temporal. Tesis de Maestría. UG. Guadalajara, Jal. 140 pp.
- Cervantes J. C. (2016). Aptitud combinatoria entre líneas de maíz de diferente grupo heterótico. Tesis de Maestría. Producción y Tecnología de Semillas. Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Gto., México. 70 p.
- CIMMYT. (1999). Manejo de los ensayos e informe de los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz. Quinta reimpresión. México. D. F. 20 p.
- CIMMYT. (2015). Programa de Ensayos Internacionales de Maíz. Informe final de 1999. Ed. CIMMYT. México. 43-151.
- Copeland, L.O. (1976). Principles of seed science and technology. Burgess Pub.Co. Minneapolis, Minnesota. 369 p.
- García, E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Ed. UNAM. Instituto de Geografía. México, D. F. 245 p.
- González, A.V. (1995). El maíz y su conservación. Ed. Trillas. Primera Edición. México. 11-13.
- INEGI, 2010. Topografía. Compendio de Información Geográfica Municipa. [En línea] Available at: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/compendio.aspx> [Último acceso: 10 Diciembre 2015]
- López, B.L. (1991). Cultivos herbáceos. Vol. 1 Cereales. Ed. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 307-385.
- Mendoza, E.M., Mosqueda V. C., Rangel L.J.A., López B. A., Rodríguez H.S.A., Latournerie M. L., Moreno M. E. (2006). Densidad de población y fertilización nitrogenada en clorofila, materia seca y rendimiento de maíz normas y QPM. *Agricultura Técnica en México.* 32(1):89-99
- Molina, G.J.D. (1992). Introducción a la genética de poblaciones y cuantitativa: algunas implicaciones en genotecnia. Ed. AGT. México D. F. 349 p.
- Palomo, G. R. (1976). La interacción genotipo-ambiente en el cultivo del algodón en la comarca Lagunera. In: Memoria del VI Congreso Nacional de la SOMEFI, Monterrey, N. L. 348-352.
- Reyes, C. P. (1990). El maíz y su cultivo. Ed. AGT. Editor, S.A. Primera Edición. México, D. F. 66-68.
- SARH-INIFAP-PROCATI. (1991). Marco de referencia y Catalogo de Tecnologías Agropecuarias para el Distrito de Desarrollo Rural 004 Celaya. Campo Experimental Bajío. Publicación Especial No. 29. 210.
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2017). <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/> (Consulta 15 de junio, 2015).
- Sinchi, P.J.H. (1991). Prueba de adaptación de 24 genotipos de maíz (*Zea mays* L). Campo experimental de Apodaca, N. L. en la primavera de 1990. Tesis de Maestría. ITESM. Campus Monterrey, México. 68 pp.
- USDA. United States Department of Agriculture-Foreign Agricultural Service. (2015). Producción mundial de granos y cereales. <http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome> (Consulta 8 de julio, 2015).
- Wong, R.R., Gutiérrez R.E., Palomo G.A., Rodríguez H.S.A., Córdoba O.H., Espinoza B.A., Lozano G.J.J. (2007). Aptitud combinatoria de componentes de rendimiento en líneas de maíz para grano en la comarca lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 30(2):181-189.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

DELIMITACIÓN DE LA RONDA HÍDRICA CON CRITERIO ECOSISTÉMICO DEL RÍO MIJITAYO, MUNICIPIO DE PASTO-NARIÑO

DELIMITATION OF THE ROUND RIVER WITH ECOSYSTEMIC
CRITERIA OF THE MIJITAYO RIVER, PASTO MUNICIPALITY-NARIÑO

Laura Inés Bravo-Sossa¹

Lizeth Yuranny Romo-Bravo²

Sandra Milena Madroñero-Palacios³

Francisco Ricardo Mafla-Chamorro⁴

^{1,2} Ing. Ambiental. Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Colombia

³ MSc Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas. Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Colombia

⁴ MSc en Ingeniería Mención Recursos hídricos. Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Colombia

¹ ing.lbravosossa@gmail.com

² lizromo.21@gmail.com

³ smadronero@umariana.edu.co

⁴ fmafla@umariana.edu.co

RESUMEN

El estudio se desarrolló en el río Mijitayo, ubicado en el Municipio de Pasto, suroccidente colombiano. El objetivo fue aplicar una metodología basada en la protección de los ecosistemas para definir el ancho de ronda hídrica y las especies más apropiadas para su recuperación, teniendo como principal elemento la identificación de zonas de vida que se encuentran en el área de estudio. Para ello, se estudiaron algunas de las características fitosociológicas entre las cuales se encuentran: altura, cobertura, densidad y frecuencia relativa, que sirvieron para determinar el Índice de Valor de Importancia (IVI), parámetro fundamental

junto con la densidad de drenaje y el área de la cuenca aferente para la delimitación de la ronda hídrica con criterios ecosistémicos. En el sitio de estudio se encontraron las zonas de vida Bosque seco montano bajo (bs-MB), Bosque húmedo montano (bh-M), Bosque muy húmedo montano (bmh-M) y Páramo sub andino (p-SA) estimando un ancho de ronda hídrica de 15, 25, 29 y 23 metros, respectivamente. Finalmente, las especies recomendadas para su recuperación fueron *Verbesina arborea*, seguida de *Fuchsia dependens* y *Bocconia Frutescens* para el bs-MB; *Tibouchina mollis* y *Verbesina arborea* para el bh-M;

Baccharis latifolia seguida de *Maytenus prunifolia* y *Cavendishia bracteata* para el bmh-M y por último, *Phyllanthus Salviifolius* seguida de *Munnozia Sp* para el p-SA.

Palabras clave: Ronda Hídrica, cuenca, índice de valor de importancia.

ABSTRACT

The study was conducted in Mijitayo river, which is located in Pasto municipality, in the south-west of Colombia. The general objective was to apply a methodology based in the ecosystems protection to define round river width and the more suitable species to its recovery, having as main element the life zones identification that are in the study area. With this purpose, some of the phytosociological characteristics were studied, among which are: height, coverage, density and relative frequency, which are useful to determine the

Importance Value Index (IVI), fundamental parameter along with the drainage density and the area of the afferent basin.

The following life zones were obtained in the study site: the lower montane dry forest (bs-MB), the humid montane forest (bh-M), the very montane forest (bmh-M) and the sub-Andean Paramo (p-SA) with an estimated round river width of 15, 25, 29 and 23 meters, respectively. Finally, the recommended species for recovery were *Verbesina arborea*, followed by *Fuchsia dependens* and *Bocconia Frutescens* for bs-MB; *Tibouchina mollis* and *Verbesina arborea* for bh-M; *Baccharis latifolia* followed by *Maytenus prunifolia* and *Cavendishia bracteata* for bmh-M and finally, *Phyllanthus Salviifolius* followed by *Munnozia Sp* for p-SA.

Key words: Water round, basin, Importance Value Index.

INTRODUCCIÓN

Una cuenca hídrica se considera como un área geográfica donde se moviliza un sistema de corrientes de agua a nivel superficial y subterráneo, los cuales confluyen en un mismo punto. En dicha área se propicia la interacción de procesos naturales y actividades humanas. (Formica, *et al.*, 2015).

Como parte integral de los cuerpos de agua se encuentran las zonas de ribera, cuya vegetación se caracteriza por ubicarse en sectores de transición entre hábitats terrestres y acuáticos en sus diferentes estratos (Romero, *et al.*, 2014). Dentro de las funciones de las áreas de ribera se destacan la amortiguación de crecidas y transporte de nutrientes y/o contaminantes, sumado a la protección del ecosistema acuático y de ribera.

Las características bióticas y abióticas se afectan en dichas zonas, principalmente por intervenciones antrópicas, generando un fuerte impacto sobre la calidad del agua y causando graves reducciones de la diversidad biológica (Galeano, *et al.*, 2017). Considerando la problemática expuesta, en este artículo se presenta la aplicación de una metodología basada en la preservación de los ecosistemas en zonas de ribera, bajo la premisa de ser considerados corredores para el establecimiento y tránsito de numerosas especies que migran o se desplazan en su interior, donde se mantienen los requerimientos de su hábitat (García, 2007); y de reguladores de caudales y mantenimiento de condiciones micro-climáticas de dichas zonas (Magdaleno; 2013a).

La metodología del presente estudio se ejecutó tomando como referencia la normatividad que plantea el mantenimiento de los ríos y los ecosistemas circundantes a estos; el decreto 2245 de 2017 contempla la Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de las Rondas Hídricas en Colombia adoptada por resolución del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, donde se establece la metodología para el acotamiento de unas zonas de preservación y restauración conocidas como rondas hídricas y afirma que el valor del ancho de protección no debe ser inferior a 30 metros a cada lado del cauce (Minambiente; 2018).

El estudio consistió en determinar el ancho de la ronda del Río Mijitayo por medio del promedio de la altura de los árboles dominantes (H), lo cual se realizó con base en la información obtenida tras la realización de los muestreos y el cálculo del área y la densidad de drenaje de la microcuenca. Finalmente, se propusieron las especies nativas idóneas para dicha ronda a través de características fitosociológicas como la cobertura, densidad y frecuencia relativa con las cuales se determinó el Índice de Valor de Importancia (I.V.I) por cada especie identificada en cada zona de vida.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La presente investigación se realizó en el río Mijitayo, al occidente de la ciudad de Pasto, Departamento de Nariño, Colombia, en las estribaciones del volcán Galeras a 1° 13' Latitud Norte y 77° 17' Longitud Oeste del meridiano de Greenwich (Jiménez, *et al.*, 1989 citado por Madroño, 2006). Su parte alta está comprendida por bosques y áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, por lo cual los ecosistemas que caracterizan la zona son páramo y sub páramo (CORPONARIÑO; 2009). La parte media presenta bosques densos y fragmentados, se caracteriza por la

existencia de un cañón con vertientes cubiertas de eucaliptos y vegetación secundaria. Finalmente, la parte baja del río es considerada como una zona de transición del área rural a la urbana (Jiménez; 1989, Madroño; 2006).

Para la delimitación del área de estudio se emplearon mapas de ordenamiento de la Subcuenca del río Pasto obtenidos del Plan de Ordenamiento Territorial de Pasto, 2009; en donde se observó la sectorización hídrica del río Mijitayo, con un total de 11.67 Km². Así mismo, presenta cuatro zonas de vida que corresponden a Bosque seco montano bajo (bs-MB), Bosque húmedo montano (Bh-M), Bosque muy húmedo montano (bmh-M) y Páramo sub-andino (p-SA) (CORPONARIÑO; 2009).

Inventario florístico. Se desarrollaron muestreos en un área total de 0,1 ha con el fin de asegurar su representatividad, se establecieron 9 transectos de 2x50 m cada uno (Mottacado y Fredericksen; 2000), distribuidos en las cuatro zonas de vida, cada punto establecido fue georreferenciado y en cada transecto se consideraron las especies arbóreas nativas (Minambiente; 2018) mayores a 3 m de altura y con diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor a 2,5 cm (Mateucci y Colma; 1982). Con base en lo anterior, se procedió a determinar un promedio total de alturas de todos los individuos inventariados para determinar la altura de los árboles dominantes (H) por cada zona de vida.

Ancho de la zona de ribera. Ya calculada la altura (H) y el ancho del componente ecosistémico se determinó la relación que existe entre la densidad de drenaje de las corrientes y el área de la cuenca aferente. A partir de esta relación se obtuvo el valor de N, (cuadro 1) con el cual se determinó la franja de terreno correspondiente al componente ecosistémico, es decir el ancho de la zona de ribera (Minambiente; 2018).

Para la determinación de la densidad de drenaje (D_d) de la microcuenca Mijitayo (Ecuación 1) se tuvo en cuenta la Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de las Rondas Hídricas en Colombia (2018). Se emplearon los programas AutoCAD 2015 y Excel 2013, donde se introdujeron los datos obtenidos en campo con relación a longitud de todas las corrientes de agua en kilómetros (km) que se encuentran dentro de la microcuenca Mijitayo y el área de la hoya en kilómetros cuadrados (km^2).

Para llevar a cabo lo anterior, se aplicó la siguiente ecuación:

$$D_d = \frac{L}{A} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

D_d = Densidad de drenaje (km/km^2)

L = Longitud total de las corrientes de agua (km)

A = Área total de la hoya (km^2)

Tabla 1. Valor de N según área de la cuenca y densidad de drenaje.

Área de cuenca aferente (km^2)	Valor de N		
	Densidad drenaje		
	Baja < 0,5 km/km^2	Media 1,0- 0,5 km/km^2	Alta >1,0 km/km^2
$0 < A \leq 1$	2,0	1,5	1,0
$1 < A \leq 10$	2,5	2,0	1,5
$10 < A \leq 100$	3,0	2,5	2,0
$100 < A \leq 1000$	3,5	3,0	2,5
$1.000 < A \leq 10.000$	4,0	3,5	3,0
$10.000 < A \leq 100.000$		4,0	

Fuente: MADS y UNAL; 2012

Selección de especies arbóreas nativas para la zona de ribera. Inicialmente se determinaron las características fitosociológicas que presentaban los individuos encontrados después de la realización de los muestreos en la zona de estudio (Mateucci y Colma; 1982). (Ecuaciones 2, 3, 4, 5).

Cobertura relativa

$$CR = \left(\frac{It}{Ie} \right) \times 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

CR = Cobertura relativa

Ie = Sumatoria de intercepción de cada especie

It = Sumatoria de intercepción de todas las especies

Densidad relativa

$$DR = \left(\frac{N}{A} \right) \times 100 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

CR =Densidad relativa

N =Número de individuos

A = Área en la que se encontraron los individuos

Frecuencia absoluta

$$FA = \left(\frac{ai}{UM} \right) \text{ (Ecuación 4)}$$

Donde:

FA= Frecuencia absoluta

ai= Número de apariciones de determinada especie

UM= Unidades muestrales establecidas por zona de vida

Frecuencia relativa

$$FR = \left(\frac{FA}{A} \right) \times 100 \text{ (Ecuación 5)}$$

Donde:

FR= Frecuencia relativa

FA= Frecuencia absoluta

A= Número de apariciones de todas las especies

Se calculó el Índice de Valor de Importancia, (Ecuación 6) con base en la sumatoria de las variables de las ecuaciones 3, 4 y 5 que representan las características fitosociológicas,

tales como la cobertura relativa, densidad relativa y frecuencia relativa (Mostacedo y Fredericksen; 2000).

Índice de valor de importancia

$$IVI = CR + DR + FR \text{ (Ecuación 6)}$$

Donde,

CR= Cobertura relativa

DR= Densidad relativa

FR= Frecuencia relativa

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Inventario florístico. A partir de los muestreos desarrollados en las zonas de vida se identificaron 1018 individuos (Ver ANEXO 1), distribuidos en 20 familias, entre las más abundantes se destacan *Asteraceae* y *Melastomataceae*, entre las especies más representativas 26 especies, entre las cuales se encuentran *Baccharis Latifolia* (Chilca), *Verbesina arbórea* (Velo), *Tibouchina mollis* (Flor de Mayo), *Otholobium mexicanum* (Tarta), *Cavendishia bracteata*, *Fuchsia dependens* (Zarcillejo), etc. (Tabla 2).

Tabla 2. Individuos registrados por cada zona de vida.

Zona de vida	N° individuos nativos	N° de transectos
Bosque seco montano bajo (bs-MB). 2750 - 2927 m s. n. m.	122 (6 especies y 5 familias)	2
Bosque húmedo montano (Bh-M) 2961 - 3099 m s. n. m.	362 (17 especies y 14 familias)	2
Bosque muy húmedo montano (bmh-M) 3450 - 3575 m s. n. m.	388 (24 especies y 18 familias)	4
Páramo sub-andino (p-SA) m.s.n.m.	146 (2 especies y 10 familias)	1

En el Bosque seco montano bajo, se evidenció que la diversidad en relación con la vegetación arbórea nativa es menor en comparación con las demás zonas de estudio, lo cual se rectifica

con observaciones ejecutadas tras inventarios florísticos levantados en la zona (Jiménez y Andrade; 2015). Así mismo y tras la influencia de otros factores como son las áreas inundables a

lo largo del cuerpo hídrico, la situación descrita, principalmente podría deberse a que en estos ecosistemas se han desarrollado procesos de intervención antrópica principalmente de carácter agrícola y ganadero (Solarte *et al.* 2007).

La familia más abundante fue *Asteraceae* con dos tipos de especies, *Verbesina arbórea* (Velo) y *Baccharis latifolia* (chilca). Usando como referente el inventario florístico del sector de Buga Alto, del bosque de Paquiestancia, Cayambe – Ecuador, se encontró en común la presencia de la especie *Baccharis latifolia* en la misma zona de vida, el área en donde se realizó dicho inventario se encuentra a una altura de 2830 m s. n. m (Gutiérrez; 2010). El anterior caso es similar a la presente investigación, por lo que se puede afirmar que las condiciones ambientales mencionadas propician el desarrollo de este tipo de especie.

Con respecto al bosque húmedo montano, a diferencia de la primera zona de vida, se encontró mayor diversidad de especies arbóreas nativas debido a que al presentar una altitud considerable, el acceso es más limitado y por ende la actividad antrópica tiende a decrecer. La familia más abundante fue *Melastomataceae* con la especie *Tibouchina mollis* (Flor de mayo), que obtuvo una cifra significativa de individuos en comparación con las demás especies encontradas.

Lo anterior se logra comprobar con los resultados del inventario florístico realizado por la Universidad de Nariño, cuyo objeto fue determinar la capacidad de adaptación y crecimiento de diferentes tipos de especies nativas en la granja Botana localizada a 7 km de la ciudad de Pasto a una altura de 2970 m.s.n.m, arrojando como resultado final a *Tibouchina mollis* como el individuo más apto para implementarse en una reforestación, gracias a su rápido crecimiento (Luteyn; 2007).

Posteriormente, en el bosque muy húmedo montano la diversidad con respecto a especies arbóreas nativas fue mayor, encontrando que a medida que aumentaba la altitud, la altura de los árboles disminuía, en comparación con las dos zonas de vida que antecedieron. Esto puede ser causado debido a condiciones climáticas como la temperatura, que en esta área es baja.

También se identificó que la familia más abundante fue *Asteraceae* con especies como *Baccharis latifolia* (Chilca) y *Verbesina arborea* (Velo). Se logró contrastar la información mencionada con un estudio de biodiversidad de especies arbóreas en el (bmh-M) realizado en las cuencas altas de los ríos Pasto y Guamués dentro del municipio de Pasto, en el cual, una de las especies más abundantes fue *Baccharis latifolia* (Ordoñez *et al.* 2014).

Finalmente, en el Páramo sub-andino, los elementos climáticos como la humedad cambiaron en comparación con las anteriores zonas, esto se debe a una relación inversamente proporcional, debido a que, a mayor altitud, la presión disminuye, influyendo directamente sobre el componente mencionado, además en zonas donde hay presiones bajas, dicho factor aumenta (Faasafety; 2008). Esto explica el cambio de características generales en la última zona de vida, puesto que se observó la presencia de adaptaciones en el ecosistema, representadas en vellosidades en las hojas y tallos de plantas, el suelo presentaba mayor humedad, acompañada de musgos, helechos y abundante hojarasca. Además, se encontraron plantas epífitas que crecían sobre los árboles. En lo que se refiere a la altura, las especies arbóreas nativas eran más bajas a diferencia de las encontradas en las primeras zonas muestreadas, sin embargo, la altura de los individuos muestreados estuvo entre los 9 y los 22 metros.

La familia con mayor abundancia fue Asteraceae con tres tipos de especies en el siguiente orden, *Munnozia sp*, *Verbesina arborea* (Velo) y *Baccharis odorata*, en relación con este resultado, en el Plan de Manejo Santuario de Flora y Fauna Galeras, se encuentra un inventario florístico realizado, a partir del cual, se logró la caracterización de diferentes tipos de árboles nativos en donde predominaba *Munnozia sp* que hace parte del ecosistema de páramo (López *et al.* 2005).

Establecimiento del ancho de la zona de ribera. Por su parte, los valores correspondientes al ancho de la zona de ribera fueron para el Bosque seco montano bajo (bs-MB) de 15 m, para el Bosque húmedo montano (bh-M) de 25 m, para el caso del Bosque muy húmedo

montano (bmh-M) el valor es 29 m y finalmente, para el Páramo sub andino (p-SA) el valor es de 23 m. Tales anchos se calcularon a partir de la altura promedio de los árboles dominantes (H) muestreados que es de 10 m, 17 m, 20 m y 15 m, correspondientes a una de las zonas de vida listadas anteriormente (figura 1). Cabe resaltar que entre los cálculos relacionados con la geomorfología de la microcuenca Mijitayo, se encuentran el área de la hoya con un valor de 9,87 km², mientras que el valor referente a la densidad de drenaje (D_d) fue de 2,7 Km/Km², lo cual indica que se encuentra dentro del rango que usualmente toma valores entre 0,5 para hoyas con drenaje pobre hasta 3,5 para hoyas excepcionalmente bien drenadas (Monsalve, 1999).

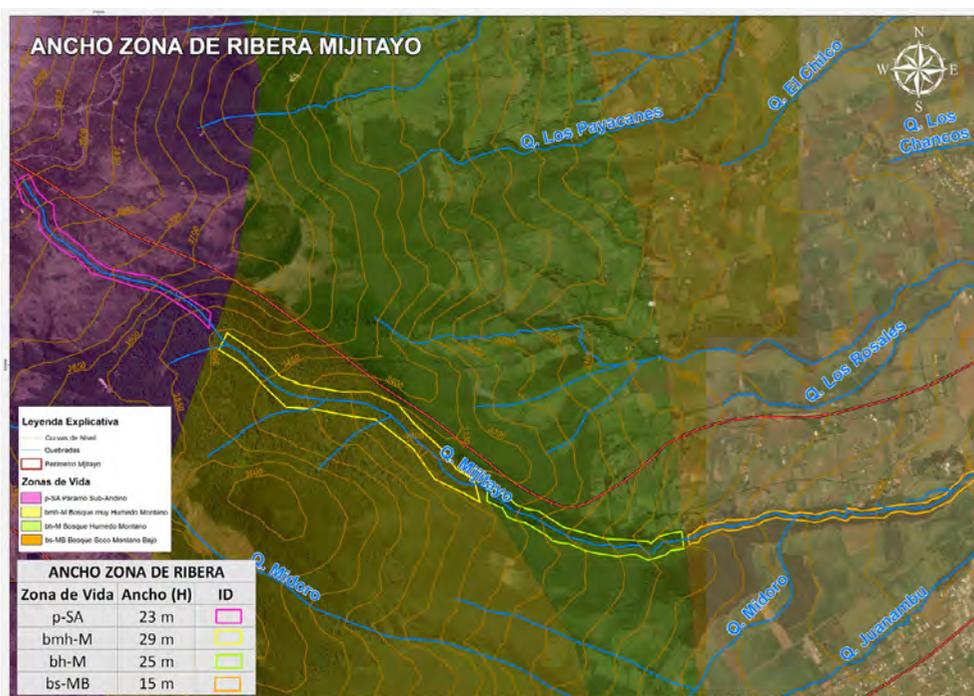


Figura 1. Ancho de la zona de ribera para cada zona de vida.

Con lo anterior se identificó el valor de N que fue de 1,5 adimensional (tabla 1) y se operó con el valor de H para cada zona de vida, obteniendo los anchos de la zona de ribera que se mencionan al inicio de este apartado.

Según lo observado, los valores se vieron influenciados por los procesos de intervención antrópica ya sea deforestación o ampliación de la frontera agrícola y pecuaria que han contribuido a la reducción de la cobertura vegetal

en la zona de ribera y que por ende, reduce los promedios de las alturas. Es importante establecer que la metodología afirma que entre mayor sea el promedio H, mayor será el ancho de la zona de ribera para cada zona de vida (Minambiente; 2018).

Tras el levantamiento de datos y el cálculo del ancho de la zona de ribera por cada zona de vida muestreada, se identificó que, según la normatividad establecida para ninguno de los casos los valores de ancho llegaron a los 30 metros a partir del nivel medio de aguas máximas que exige la norma colombiana. A partir de ello, inicia una discusión en cuanto a sí dicha dimensión es o no suficiente para garantizar la conservación del recurso hídrico a lo cual (Minambiente; 2018) consideran importante tener en cuenta, además del componente ecosistémico, los componentes hidrológico y geomorfológico, ya que estos son menos variables en periodos cortos de tiempo. Estudios desarrollados por Fundaguiza (2013) en un tramo de los ríos Pasto y Miraflores, muestran cómo la determinación de la zona de ribera es mayor cuando se aplica el análisis geomorfológico e hidrológico.

Sin embargo, y según el objetivo planteado será totalmente diferente el ancho de la zona de ribera, ya que depende de la composición y densidad de la vegetación presente, la longitud y tipo del curso de agua, además de la pendiente del terreno (Fischer y Fischenich; 2000).

Así mismo, la determinación apropiada de los anchos de franjas de protección de cauces

debe responder a la función que se espera satisfacer, siendo el enfoque de esta investigación la protección desde una perspectiva de conservación de la vegetación de ribera, sin desconocer que adicionalmente es necesario proveerle a los ríos el espacio para desarrollar otros procesos, tales como: la preservación de los ecosistemas acuáticos, el desarrollo de los procesos de erosión, entre otros (Gayoso y Gayoso; 2003).

El manejo de la zona de ribera variará de muy estrecho a ancho dependiendo de la geomorfología fluvial en la zona, como lo son las llanuras de inundación, valles, entre otros y también del tipo de uso del suelo adyacente, por ejemplo, un parque nacional, agricultura, silvicultura, vivienda urbana, entre otros (Price y Lovett; 2002).

Propuesta de especies nativas para la restauración ecológica. Finalmente, con base en los resultados obtenidos en el estudio fitosociológico; se propusieron las especies que presentaron los mayores índices de valor de importancia (IVI), las cuales, se consideran más idóneas para ser implementadas en las cuatro zonas de vida identificadas. Para el Bosque seco montano bajo, fueron *Verbesina arbórea* y *Fuchsia dependens*. Por su parte, las especies seleccionadas para el Bosque húmedo montano fueron *Tibouchina mollis* y *Verbesina arbórea*. En el caso del bosque muy húmedo montano, se seleccionó *Baccharis latifolia* y *Maytenus prunifolia*; por último, las especies elegidas para el p-SA, fueron *Phyllanthus Salviifolius* seguida de *Munnozia Sp* (Tabla 3).

Tabla 3. Especies potencialmente adecuadas para restauración ecológica en la zona de ribera.

Zona de vida	Especies	Índice de Valor de Importancia (IVI) más altos
Bosque seco montano bajo (bs-MB). 2750 - 2927 m s. n. m.	<i>Verbesina arbórea</i>	78,4
	<i>Fuchsia dependens</i>	55,7
Bosque húmedo montano (Bh-M) 2961 - 3099 m s. n. m.	<i>Tibouchina mollis</i>	76,4
	<i>Verbesina arbórea</i>	66,5
Bosque muy húmedo montano (bhm-M) 3450 - 3575 m s. n. m.	<i>Baccharis latifolia</i>	43
	<i>Maytenus prunifolia</i>	40,2
Páramo sub-andino (p-SA) 3725 m s. n. m.	<i>Phyllanthus Salviifolius</i>	45
	<i>Munnozia Sp</i>	40,3

Con dicha propuesta se quiere lograr a futuro, la implementación de una herramienta útil para realizar procesos de restauración ecológica en la zona de ribera del río Mijitayo; debido a que tras la ejecución del estudio se determinó que en ninguno de los tramos se respeta el ancho de la ronda hídrica exigida, la cual, es fundamental para la conservación de las características y el estado óptimo de las fuentes hídricas.

De acuerdo con la tabla 3 se recomienda el uso de *Verbesina arbórea*; estudios afirman la importancia de la implementación de dicha especie en cercas vivas, con el objetivo de proveer hábitats y recursos que incrementen la conectividad del paisaje, lo cual está íntimamente relacionado con la preservación de los ecosistemas aledaños a los recursos hídricos (Navia *et al.* 2017).

Dentro de los recorridos del presente estudio se identificó la degradación y el deterioro de los ecosistemas presentes en el Bosque seco montano bajo (bs-MB); principalmente debido a que en estas zonas la intervención antrópica es mayor; por lo cual, es adecuado proponer la restauración con especies que garanticen y mejoren las condiciones de los ecosistemas

aledaños al río Mijitayo; logrando mantener y mejorar la calidad del mismo.

Otra especie recomendada es *Fuchsia dependens* (Zarcillejo), gracias a su capacidad de regulación de escorrentía, control de procesos erosivos y protección de cuencas (Castro y Martínez; 2008). Adicionalmente, esta especie se adapta fácilmente en sitios húmedos y generalmente puede ubicarse en zonas aledañas a los arroyos o cuerpos de agua. Es una planta nativa de fácil adaptabilidad al medio y se caracteriza por ser de rápido crecimiento (Caranqui; 2011). Estas características hacen adecuado el uso de esta especie en la recuperación de la ronda hídrica del río Mijitayo; puesto que además de su rápido crecimiento, lograría evitar la llegada de agroquímicos y demás vertimientos que por escorrentía afectan la calidad del río.

Por su parte, una de las especies recomendada para el Bosque húmedo montano es *Tibouchina mollis* (siete cueros), la cual influye en procesos de revegetación y restauración ecológica integral, usada como una herramienta que busca la reposición de los valores, bienes y servicios ambientales que las comunidades locales han

perdido (Cabrera *et al.* 2014). Caso que se presenta en la zona de vida nombrada para el presente estudio, puesto que a lo largo de los recorridos se evidenció fragmentación del bosque nativo a raíz de la siembra de especies maderables como pinos y eucaliptos, por lo tanto, al implementar dicha especie se lograría además de la recuperación del ecosistema, el mantenimiento y regeneración de los sistemas naturales que se desarrollan alrededor.

Finalmente, la *Munnozia Sp* fue una especie seleccionada en el estudio, por su función protectora de cuencas que asegura el restablecimiento de la funcionalidad del ecosistema (Mora; 2012). Al ser una de las especies recomendada para implementar en el Páramo Sub- Andino; son de suma importancia las funciones descritas, ya que este es uno de los ecosistemas estratégicos que en la actualidad se debe proteger y conservar, por ser zonas donde se encuentra vegetación abundante, además de ser uno de los lugares donde nacen fuentes hídricas.

CONCLUSIONES

Los valores obtenidos para la ronda hídrica del río Mijitayo con respecto al componente ecosistémico fueron, para el Bosque seco montano bajo (bs-MB) 15 m, para el Bosque húmedo montano (bh-M) 25 m, para el Bosque muy húmedo montano (bm-M) 29 m y para el Páramo sub-andino (p-SA) 23 m, mientras que el Decreto 2245 de 2017 establece que la faja paralela a la línea de mareas máximas o a la del cauce permanente de ríos y lagos debe tener un ancho de mínimo 30 m; por lo tanto, se debe adoptar el valor dictado por esta normatividad, y sumado a ello, el área de protección o conservación aferente que corresponde a los componentes geomorfológico y ecosistémico.

De acuerdo con el análisis desarrollado en torno a los Índices de Valor de Importancia (IVI)

más altos y a las características morfológicas y funcionales de los individuos muestreados, las especies nativas aptas para recuperar la ronda hídrica del río Mijitayo fueron *Verbesina arbórea* (Velo), *Fuchsia dependens* (Zarcillejo), *Bocconia frutescens* (Trompeto), *Tibouchina mollis* (Flor de Mayo), *Baccharis latifolia* (Chilca), *Cavendishia bracteata* (Chaquilulo), *Phyllanthus salviifolius* (Yuco) y *Munnozia sp.*

La cobertura arbórea nativa que hace parte de las zonas de vida ubicadas en un rango altitudinal entre los 3450 y 3755 m.s.n.m presenta el mejor estado, debido a que las condiciones topográficas hacen difícil la accesibilidad al territorio, y esto ha reducido en gran medida el grado de intervención antrópica.

A la fecha no existe un sustento legal lo suficientemente robusto que limite la intervención en áreas de ribera y junto a las dificultades de recuperar la ronda en zonas que se encuentran intervenidas, generan la necesidad de desarrollar mecanismos que permitan, no solo el determinar la medida de la ronda sino además el hacer viable su aplicación.

LITERATURA CITADA

- Aguirre, Z. Kvist, L. y Sánchez, O. (2006). Bosques secos en Ecuador y su diversidad. *Botánica Económica de los Andes Centrales*. 162 -187.
- Cabrera, M. y Ramirez, W. (2014). Restauración ecológica de los páramos de Colombia. Transformación y herramientas para su conservación. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D.C. Colombia. 296 pp.
- Calder, I. Hofer, T. Vermont, S. y Warren, P. (2007). Towards a new understanding of forests and water. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. *Unasylva* 58 (229). 18 p.
- Castro, J y Martínez, E. (2008). *Formulación del Plan de Gestión Ambiental del municipio de Sibundoy, Putumayo*. Tesis. Universidad Tecnológica de Pereira., 185 p.

- Caranqui, J. (2011). *Avances taxonómicos y de propagación del género Fuchsia en Ecuador*. Herbario Politécnico del Chimborazo, (CHEP). 44-45.
- Corporación Autónoma Regional de Nariño. (2009). Plan de ordenamiento y manejo ambiental subcuenca del río Pasto. San Juan de Pasto, Colombia., 120 p.
- Federal Aviation Administration. (2008). *Density Altitude*. 1-4
- Fischer, R y Fischenich, C. (2000). Design Recommendations for Riparian Corridors and Vegetated Buffer Strips. *Ecosystem Management & Restoration Research Program. United States of America*.
- Formica, S. Sacchi, G. Campodonico, V. Pasquini, A y Cioccale, M. (2015). Modelado De Calidad De Agua En Ríos De Montaña Con Impacto Antrópico. Caso De Estudio: Sierra Chica De Córdoba, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 31 (4) 327-341.
- Fundaguiza (2013). Determinación de la ronda hídrica de 40 Km en los ríos Pasto y Miraflores. Corporación Autónoma Regional de Nariño Corporariño. Pasto. Colombia. 80 p.
- Galeano, E. Monsalve, L. Mancera, N. (2017). Evaluación de la Calidad Ecológica de Quebradas Andinas en La Cuenca del Río Magdalena, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 20 (2): 413-424
- García, C. (2007). Regulación Hídrica Bajo Tres Coberturas Vegetales en la Cuenca del Río San Cristóbal, Bogotá D.C. *Revista Colombia Forestal*, 10(20), 141 p.
- Gayoso, J. y Gayoso, S. (2003). Diseño de Zonas Ribereñas. Requerimiento de un Ancho Mínimo. Universidad Austral de Chile: Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile. 12 p.
- Gómez, E. Gómez, F. (2009). *Revista de Arquitectura*. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Arquitectura. Volumen 11. Bogotá D.C., Colombia. 8 p. ISSN: 1657-0308.
- González del Tánago, M. (2002). Las riberas elementos clave del paisaje y en la gestión del agua. Departamento Ingeniería Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 13 p.
- Gutiérrez, L. (2010). Inventario Florístico del sector de Buga Alto, del Bosque de Paquiesticancia, Cayambe – Ecuador. Tesis de pregrado. Universidad Politécnica Salesiana. Cayambe, Ecuador., 115 p.
- Green Facts. (2009). Recursos Hídricos. *II Informe de las Naciones Unidas Sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo*. Bruselas, Bélgica., 6 p.
- Empresa Metropolitana de Aseo - EMAS S.A E.S.P. (2009). Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental Subcuenca del Río Pasto. *Sectorización hídrica*. Mapa N° 17. Escala de impresión 1:60.000. Pasto, Colombia.
- Jiménez, A. Navas, L. Ortiz, G. y Solarte, A. (1989). *Declaratoria de impacto ambiental en las aguas superficiales en la microcuenca del río Mijitayo*. Tesis Especialización en Ecología. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia., 165 p.
- Jiménez, L. Andrade, S. (2015). Caracterización de las cercas vivas y la avifauna asociada en la vereda San Felipe, Microcuenca Mijitayo, Municipio de Pasto, Departamento de Nariño. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia, 37 p.
- López, N. Pinilla, A. Zambrano, J. Castro, J. Miramag, O. y Pimiento, E. (2005). Plan de Manejo 2006 – 2010 Santuario de Flora y Fauna Galeras. Ministerio de ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). Pasto, Colombia., 78 p.
- Luteyn, J. Buritica, P. (2007). University of Nariño property, vicinity Granja Botana, Nariño. Colombia. Colecciones. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: <http://www.biovirtual.unal.edu.co/ICN/?controlador=ShowObject&accion=show&id=122837>
- Madroñero, S. (2006). *Manejo del recurso hídrico y estrategias para su gestión integral en la microcuenca Mijitayo, Pasto Colombia*. Tesis Programa de educación para el desarrollo y la conservación. Escuela de posgrado. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica., 183 p.
- Magdaleno, F. (2013). *Estructura y composición de la vegetación de ribera*. Evolución de los bosques riparios en el Ebro medio. Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas (CEDEX), Ministerio de Fomento, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, España., 4 p.
- Martínez, C y Fernández, J.A. (2009). Los bosques de ribera. *Cartilla forestal*. Obra Social Caja Madrid y la Asociación de Forestales de España (PROFOR). Madrid, España, 20-29.
- Matteucci, S y Colma, A. (1982). *Metodología para el estudio de la vegetación*. Secretaría General de la

- Organización de los Estados Americanos: Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington D.C, Estados Unidos., 77 p.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de las Rondas Hídricas. Bogotá D.C., Colombia., 86 p.
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C, Colombia. 382 p.
- Mora, W. (2012). *Propuesta de recuperación de la ronda hídrica de un tramo de 2,3 kilómetros en la cuenca alta del río Dulce, municipio de Sasaima mediante rehabilitación forestal*. Tesis. Universidad Libre, Facultad de Ingeniería, Instituto de posgrados. Bogotá D.C., Colombia. 109 p.
- Mostacedo, B y Fredericksen, T. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible Financiado por USAID Y PL480 en convenio con el MDSP. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia., 87 p.
- Navia, J. Muñoz, D. Solarte, J. (2017). Caracterización del componente arbóreo de cercas vivas en sistemas agroforestales en el departamento de Nariño. TEMAS AGRARIOS - Vol. 22:(2) Julio - Diciembre 2017 (80 - 89). Nariño. Colombia.
- Ordoñez, H. Pérez, M. y Quiroz, C. (2004). Estudio de la biodiversidad no cultivada en las cuencas altas de los ríos Guamuéz y Pasto. *Revista de ciencias agrícolas*. (21) 1 y 2.
- Plan de Ordenamiento Y Manejo Ambiental Subcuenca del Río Pasto. (2009) Sectorización hídrica. Mapa N° 17. Escala De impresión 1:60.000. Pasto, Nariño.
- Presidencia de la República de Colombia. (2016, 11, 12). Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. [Legislación en formato web]. Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=62511>.
- Price, P. y Lovett, S. (2002). *Managing riparian land*. Land & water Australia. Fact Sheet 1. Australia. 6 p.
- Romero, F. Cozano, M. Gangas, R. Naulin, P. (2014). Zonas ribereñas: protección, restauración y contexto legal en Chile. *Revista Bosque*. 35(1): 3-12.
- Solarte, M. Narváez, G. Baca, Elena. Calderón, J. Torres, C. Rengifo, J. Dávila, M. Cepeda, B. Castillo, G. Rivas, G. Muñoz, D. Figueroa, V. Martínez, P. (2007). Proyecto estado del arte de la información biofísica y socioeconómica de los páramos de Nariño. Grupo de investigación en biología de páramos y ecosistemas andinos equipo interdisciplinario proyecto páramos - Universidad de Nariño. Corporación Autónoma Regional de Nariño – Corponariño. Pasto, Nariño., 276 p.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

PERTINENCIA DE LAS COMPETENCIAS DEMOSTRADAS EN TRABAJOS DE GRADO DE INGENIERÍA FORESTAL

PERTINENCE OF THE COMPETENCIES DEMONSTRATED IN UNDERGRADUATE PROJECTS OF FOREST ENGINEERING

Diana Marcela Niño Pinilla¹
Angie Tatiana Pérez Reyes²
Jaime Alberto Moreno Gutierrez³

^{1,2} Ingeniero Forestal, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá - Colombia.

³ Ingeniero Forestal; M.Sc. Economía; M.Sc. Administración; Profesor Asociado,
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá - Colombia.

¹ dianimar3@gmail.com

² angiet2802@gmail.com

³ jmoreno@udistrital.edu.co

RESUMEN

Este estudio analiza la pertinencia de las competencias desarrolladas en los trabajos de grado por los estudiantes del proyecto curricular de Ingeniería Forestal en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, con respecto al perfil profesional adoptado y aprobado por el Ministerio de Educación. Para lo anterior, se recopilaron los trabajos de grado sustentados en el periodo 2015 – 2017, desarrollados por los estudiantes formados con el currículo actualizado en 2009 para satisfacer dicho perfil. Los trabajos se clasificaron por competencia, para cada una de las cuales se definieron criterios de evaluación, con base en las características comunes de los temas abarcados por estas, con cuatro niveles de desarrollo de cada competencia, con lo que se procedió a realizar la calificación de los trabajos de grado. Se

encontraron un total de 67 trabajos de grado que hacen parte del nuevo pensum, aprobados y sustentados hasta el año 2017 de los cuales se logró tener acceso a 62 para realizar la evaluación. No se evidenció una proporcionalidad entre el desarrollo de las competencias demostradas y la cantidad de trabajos en cada una; por otro lado, se observó que la mayoría de las competencias abarcan muchos temas con lo cual demuestran generalidad, pero pierden especificidad, lo que evidencia en la mayoría de los casos un desarrollo muy básico de las competencias que debe tener un Ingeniero Forestal formado en la Universidad Distrital.

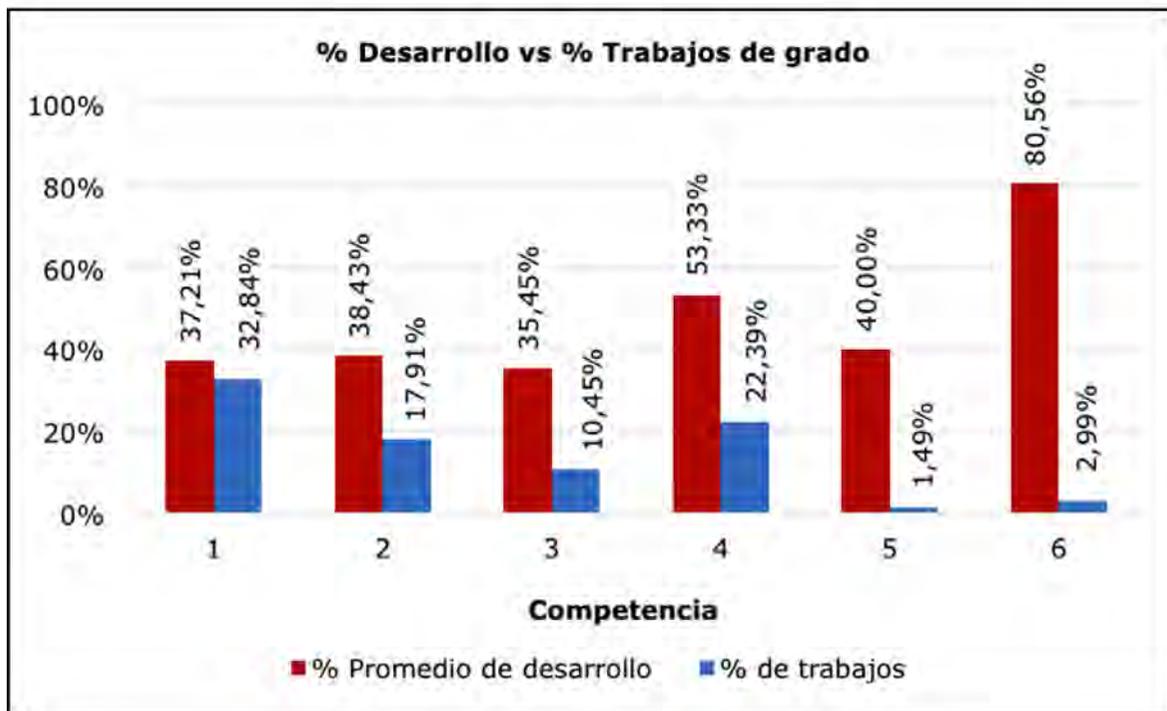
Palabras clave: *Desarrollo de competencias, pertinencia del plan de estudios, criterio de evaluación, nivel de desarrollo.*

ABSTRACT

This study analyzes the relevance of the competences developed in undergraduate projects of the students within the Forest Engineering curriculum project at the Francisco Jose de Caldas District University, with respect to the professional profile adopted and approved by the Ministry of Education; hence, the undergraduate dissertation defenses approved between 2015 and 2017 developed by the students trained with the updated curriculum in 2009 to satisfy this career profile were compiled. The projects were classified by competence; for each evaluation criteria were defined, based on the common characteristics of the subjects covered by these projects, with four levels of development of each competence, which proceeded to make the qualification

of the undergraduate projects. A total of 67 undergraduate projects with dissertation defense approved until 2017 were found as part of the new curriculum, whose 62 were granted access to develop the evaluation. There was no evidence of proportionality between the development of the demonstrated competences and the number of projects in each one. On the other hand, it was observed that most of the competences cover many subjects whereby they demonstrate generality but lose specificity, which in most cases evidences a very basic development of the skills of a forest engineer trained in the District University.

Key words: *Skills development, curriculum relevance, evaluation criteria, development level.*

Resumen Gráfico

INTRODUCCIÓN

Según una fuente consultada de Fernow (1993), citada por Shirley (1964) la enseñanza forestal surgió en Alemania en 1763 pero fue hasta 1875 que se incorporaron las escuelas de formación forestal a las universidades iniciando en Austria y ya hasta el siglo XX en América Latina. En Colombia, la enseñanza Forestal llega en 1948 y se consolida en 1952 cuando se crea la Universidad Municipal -hoy Universidad Distrital Francisco José de Caldas (en adelante FJdeC)- y actualmente es enseñada en 6 instituciones educativas del país: Universidad Distrital, Universidad Nacional de Colombia, Universidad del Tolima, Universidad Industrial de Santander, Universidad del Cauca y en el Instituto Tecnológico del Putumayo (Clavijo *et al.*, 2009). La Universidad Distrital es la institución que mayor número de Ingenieros Forestales ha titulado en Colombia -entre 1955 y 2009 aproximadamente 1800- (Franco, 2009), con diferentes modalidades de grado, lo cual ha aportado a la investigación forestal en el país.

Vasco (2003) define las competencias como la capacidad de realizar tareas diferentes a las tareas rutinarias que se realizaron mientras se aprendía de un tema específico; es importante tener en cuenta el enfoque de las competencias en la educación superior debido que permite aumentar la pertinencia en los programas, y evaluar la calidad de desempeño y de evaluación de la formación (Tobón, 2008). En Colombia, el Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior -ICFES- es el encargado de emitir directrices en evaluación por competencias para la educación superior, donde define dos tipos de competencias: las genéricas, que se refieren a competencias que son generales en una rama profesional y, las competencias específicas que son propias de cada profesión (Jiménez, 2011 & ICFES, 2018),

cada institución educativa define sus competencias específicas de acuerdo con el enfoque que da a la formación de sus estudiantes.

Para agosto de 2005, el proyecto curricular de Ingeniería Forestal de la Universidad Distrital FJdeC logró obtener el reconocimiento de Acreditación de Alta Calidad, vigente hasta el año 2012; posteriormente, por medio del Acuerdo 009 y Resolución 035 expedidos por el Consejo Académico, implementó el Sistema de Créditos Académicos en el año 2006. El proyecto curricular ha instaurado múltiples estrategias que han permitido que sus graduados continúen siendo competitivos dentro del mercado nacional e internacional; parte de estas estrategias han sido la modificación en el plan de estudios basado en competencias, según se vaya requiriendo con el fin de involucrar y adaptarse a las nuevas orientaciones de la profesión, y la búsqueda de la acreditación de alta calidad, para acogerse al sistema de créditos académicos y solucionar las falencias que se evidenciaron con el tiempo hasta llegar al plan actual (Franco, 2017).

Para optar por el título de Ingeniero Forestal es necesario dar una demostración de las competencias adquiridas a lo largo de la carrera universitaria, lo cual se evidencia a través del requisito trabajo de grado, que tiene diferentes modalidades que permiten llevar a la práctica el conocimiento adquirido (Acuerdo 027 de 1993 - expedido por el CSU), por ende, el presente artículo tiene como objetivo analizar la pertinencia de las competencias desarrolladas en los trabajos de grado, por los estudiantes con el perfil vigente planteado por el proyecto curricular de Ingeniería Forestal en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas establecido con el cambio de pensum en el año 2009-3.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del presente estudio, la metodología se dividió en cuatro fases, cada una compuesta del respectivo conjunto de actividades para su desarrollo, que permitieron dar

alcance al objetivo general planteado (Figura 1) adaptando las metodologías propuestas por Aguilera & Pino (2015), Valderrama *et al.* (2009), Gairín *et al.* (2009) y Clavijo (2008).

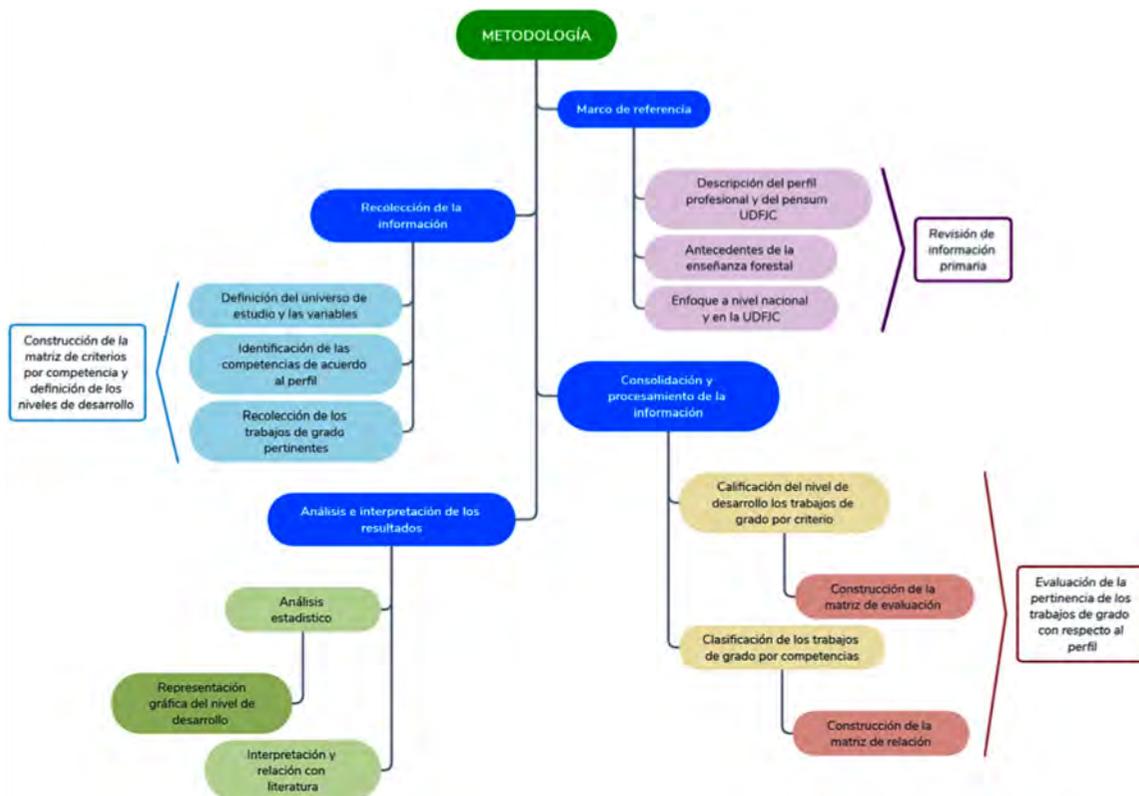


Figura 1. Mapa mental de la metodología propuesta.

Marco de referencia de las competencias del ingeniero forestal Universidad Distrital FJdeC

En esta fase se realizó la consolidación de los antecedentes de la enseñanza forestal tanto en Colombia como a nivel mundial, su influencia e importancia, el enfoque a nivel nacional y en la Universidad y el perfil profesional planteado en el Proyecto Educativo del Programa de Ingeniería Forestal (PEP) de la Universidad Distrital en su última actualización del año 2017. Con esa información, se determinaron los fundamentos y el conocimiento base para el análisis de

las competencias específicas definidas para Ing. Forestal en la Distrital en el PEP del año 2008, cómo se demuestran estas competencias con los trabajos de grado, y el reflejo en los trabajos de grado de dichas competencias.

Establecimiento de la base de datos de trabajos de grado realizados bajo el pensum 2009-3

Esta fase se compuso de tres actividades: i) Definición de las variables necesarias para el análisis y recolección de los trabajos de grado (Autor, título, tipo de trabajo de grado, año,

código y director); ii) Identificación de competencias específicas de acuerdo con el perfil planteado en el PEP 2008; y iii) Recolección de los trabajos de grado pertinentes en el Repositorio Institucional de la Universidad Distrital (RIUD), con los mismos autores y/o directores; este último, hace referencia a los trabajos de grado de los estudiantes que hacen parte del nuevo plan de estudios; es decir, quienes ingresaron a la universidad a partir del periodo 2009 – 3, y sustentaron su trabajo de grado hasta el año 2017.

Se determinó el universo de estudio y los parámetros de evaluación, seleccionando los trabajos de grado sustentados en el periodo comprendido entre el año 2015 y 2017 que hacen parte del nuevo pensum (sistema de créditos). Como variable a manejar se seleccionó el nivel de desarrollo de las competencias demostrado en los trabajos de grado, la cual es de tipo cualitativa (el nivel de desarrollo de las competencias a través de la caracterización de las mismas) y categórica (evaluadas por medio de cuatro niveles). Luego, se definieron criterios de desarrollo para cada competencia, tomando como referencia lo trabajado por Alsina *et al.* (2013), con cuatro niveles de desarrollo por criterio:

- Nivel de 0: cuando no hay ninguna expresión del criterio en el trabajo de grado (No hay desarrollo)
- Nivel de 1: cuando se desarrollan algunos elementos de los que componen el criterio de evaluación (Desarrollo bajo)
- Nivel de 2: cuando hay un desarrollo de la mayoría de los elementos que componen el criterio (Desarrollo moderado)
- Nivel de 3: cuando hay total desarrollo de los elementos que componen el criterio (Desarrollo perfecto)

Se realizó una interpretación de la definición de las competencias, en la que se evidenciaron los principales componentes para definir

los criterios de evaluación teniendo en cuenta que las competencias representan la combinación de conocimiento, actitudes, aptitudes, y destrezas de forma transdisciplinaria, que permitan dar solución y/o respuesta a una necesidad o demanda del medio (García, 2011). Para los niveles 1 a 3 se realizó una matriz de criterios con base en información secundaria, en la que se especificaron los elementos que debían desarrollarse en cada nivel por criterio y por competencia.

Parámetros de identificación de competencias en los trabajos de grado

Esta fase se compuso de la construcción de la matriz de relación, en la cual se clasificaron los trabajos de grado de acuerdo con las competencias demostradas; posteriormente, se llevó a cabo la identificación de las competencias demostradas por los trabajos de grado con las competencias planteadas en el perfil; y finalmente, se determinó la pertinencia de los trabajos de grado, mientras más próxima la calificación a tres, más pertinencia hay.

Para la matriz de relación, los trabajos de grado se clasificaron en cada una de las competencias con base en el objetivo general; subsiguientemente, se realizó la evaluación de cada trabajo de acuerdo con los criterios establecidos para cada competencia, con lo cual se construyó una nueva matriz con el grado de desarrollo demostrado por cada trabajo de grado.

Evaluación del desarrollo de la competencia en los trabajos de grado

Fase final en la cual se realizó el análisis de la información e interpretación de los resultados, a partir de un análisis estadístico de la calificación realizada para determinar la pertinencia de los trabajos de grado en relación con el perfil profesional, según el nivel de desarrollo de la competencia demostrada de acuerdo con los criterios definidos.

Para lo anterior y con el fin de establecer el nivel de desarrollo demostrado para cada competencia, de acuerdo con Drake, F. (2009) en el libro "La educación forestal en América Latina. Realidad y desafíos para la formación profesional del siglo XXI" se implementó una metodología para la interpretación de la información, en la que se determinó una calificación promedio por criterio y por competencia reflejada en los documentos; con lo cual, se obtuvo el porcentaje promedio de desarrollo demostrado por los trabajos de grado. Por otro lado, se estableció la representatividad de los trabajos de grado por competencia, y el nivel de desarrollo de cada una en los trabajos.

En cuanto al desarrollo general de las competencias, se determinó el nivel promedio de desarrollo por competencias, y se realizó una comparación entre la cantidad de trabajos de grado evaluados (%) y el promedio de desarrollo demostrado. Finalmente, se determinó la frecuencia de los niveles de desarrollo por cada criterio y por competencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para cada una de las competencias se definieron entre tres y nueve criterios de evaluación (Ver anexo Tabla 1) de acuerdo con las características comunes de los temas abarcados por cada una, con base en literatura y los syllabus del plan de estudios.

Se encontraron un total de 67 trabajos de grado aprobados y sustentados hasta el año 2017 que hacen parte del nuevo pensum, de los cuales se logró tener acceso a 62 para realizar la evaluación; al ser clasificados por competencias no fue posible ubicar dos trabajos dentro de las competencias específicas, aun cuando se evidenció un desarrollo de temáticas forestales y de las competencias generales descritas en el PEP, un trabajo de grado no evidencia el desarrollo de ninguna de las temáticas forestales correspondientes a las competencias que alimentan el perfil. De los 59 trabajos de grado restantes, veintidós se evaluaron en la competencia 1, doce en la competencia 2, siete en la competencia 3, quince en la competencia 4, uno en la competencia 5 y dos en la competencia 6 (Tabla 2).

Tabla 2. Síntesis del nivel de desarrollo de los trabajos de grado

Descripción	Cantidad T.G.	% de T.G.	Calificación promedio	% Pd	Aporte	Nivel Pd apx.	Nivel Pd
Sin competencia	2	3,23%	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
No forestal	1	1,61%	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Competencia 1	22	35,48%	10,05	37,21%	13,20%	1	1,12
Competencia 2	12	19,35%	6,92	38,43%	7,44%	1	1,15
Competencia 3	7	11,29%	9,57	35,45%	4,00%	1	1,37
Competencia 4	15	24,19%	4,80	53,33%	12,90%	2	1,60
Competencia 5	1	1,61%	6,00	40,00%	0,65%	1	1,20
Competencia 6	2	3,23%	14,50	80,56%	2,60%	2	2,42
Totales / Promedios	62	100%	8,64	47%	6,80%	1,33	1,48

Dónde: T.G. corresponde a trabajos de grado y Pd a Promedio de desarrollo.

El nivel promedio de desarrollo es de bajo a moderado, la competencia que se vio más representada fue la 1 con el 35,48% y un promedio de desarrollo bajo (nivel 1), con un %Pd del 37,21%; por otro lado, la competencia 6 se vio poco representada con el 3,23% de los trabajos de grado, pero tuvo un %Pd del 80,56% (Tabla 2). La competencia tres fue la que demostró un desarrollo más bajo con el 35,45% y fue la tercera con menor representatividad con el 11,29%; la competencia 1 fue la segunda con desarrollo más bajo con un Pd de 37,21%. La segunda competencia más representada fue la competencia cuatro con el 24,19% de los trabajos de grado evaluados, siendo esta también la segunda con mayor porcentaje promedio de desarrollo con el 53,33%.

Con el fin de determinar qué porcentaje representa cada nivel dentro de las competencias y por criterio, se halló la frecuencia relativa y absoluta de cada una y por nivel (Figura 2). Las competencias 2 y 3 evidenciaron un grado de no desarrollo en todos sus criterios, en contraste con las competencias 6 y 4 que mostraron un nivel de desarrollo significativo en sus criterios.

Al evaluar el porcentaje de desarrollo por criterio (Figura 3), las competencias 1 a 4 presentaron un porcentaje de desarrollo inferior al 65% en todos sus criterios; la competencia 5 tuvo un desarrollo de 100% en uno de sus criterios y dos de ellos del 0% y la competencia seis mostró un comportamiento prometedor con un %Pd superior al 65% en todos sus criterios.

Al manejar variables cualitativas, la evaluación de las mismas está sesgada debido a que en situaciones de incertidumbre el razonamiento humano no tiene un comportamiento adecuado

y se puede ver influenciado su criterio por las características intrínsecas del individuo como resultado el análisis puede verse parcializado (Batanero, 2001; Moritz, 2004 citados por Salcedo, 2013). Por esto, aun cuando se buscó minimizar el sesgo existente a través de una definición de criterios y niveles basados en la literatura, éste permanece debido a que la selección de los mismos y la evaluación de los trabajos de grado fueron realizados bajo la determinación humana, en donde los conocimientos existentes en el área nos permitieron establecer cuáles eran los criterios que más se adaptaban a las competencias demostrando un desarrollo total de las mismas, sin ser demasiado específicos dada la multiplicidad de temas abarcados por las competencias. La evaluación también se ve sesgada dado que, con base en unos parámetros, los observadores determinaron el nivel correspondiente mediante un consenso.

Según Gutiérrez (2000) y Coll (2007) la especificidad de las competencias juega un papel importante a la hora de promover y evaluar el aprendizaje de los diferentes tipos de conocimientos, y exige a los involucrados el dominio de unos saberes específicos; lo que se ve demostrado en la competencia 6 que fue la que mejor desarrollo mostró, debido a la especificidad de la misma donde todos los criterios establecidos demostraron un desarrollo de moderado a perfecto, obteniendo una calificación superior a dos en todos los criterios, algo similar sucede con la competencia 4 que obtuvo un desarrollo moderado con un nivel promedio de dos. Aunque en las competencias uno, dos, tres y cinco su porcentaje de desarrollo no varía mucho entre sí, la competencia tres se ve afectada en su %Pd debido a dos trabajos de grado con un desarrollo de bajo a nulo que tienen un promedio de nivel inferior a 0,6 en ambos casos.

De acuerdo con Hernández *et al.* (2007) una muestra pequeña, fomenta un mayor error lo que conlleva estimaciones imprecisas, por lo que en el caso de las competencias cinco y seis no se puede determinar la pertinencia con relación a los trabajos de grado debido al tamaño de la muestra, dado que la competencia 5 solo tiene un trabajo de grado que la desarrolla y la competencia 6, dos; sin embargo, la evaluación de estos trabajos permite dar una aproximación al enfoque de desarrollo de cada una, en donde la seis se muestra oportuna con un nivel entre moderado y perfecto, y en la competencia 5 muestra la necesidad de abarcar de forma más amplia las áreas protegidas y los componentes que las configuran.

Coll (2007) establece que, el ser competente en un área implica tener la capacidad de hacer uso de los conocimientos adquiridos en un ámbito específico para dar solución a una exigencia social o individual. Las competencias específicas: son las relativas a los conocimientos técnicos propios de la titulación. Valderrama *et al.* (2009) definen las competencias específicas como "*Las competencias relativas a los conocimientos técnicos propios de la titulación*"; con base en lo anterior, se encontró un trabajo de grado que aun cuando desarrolla competencias generales para afrontar y dar solución a una problemática social o individual de la dimensión ambiental, su enfoque no es forestal por lo cual no encaja en las competencias definidas para el perfil profesional.

La formación no puede percibirse únicamente como la adquisición de una serie de conocimientos dentro de un ámbito, sino que se debe contemplar también la capacidad de utilizar ese conocimiento para dar solución a las demandas y problemáticas sociales e individuales (Tiana, 2011); las competencias surgen de la interrelación entre los conocimientos del

área, la transmisión del conocimiento y las habilidades genéricas (Argudin, 2015). En el momento de determinar la correlación existente entre los trabajos de grado y las competencias se encontraron dos trabajos cuyo objetivo general no se ajustaba a ninguna competencia; sin embargo, abarcaron claramente una temática forestal y desarrollaron las competencias generales descritas en el PEP, integrando los conocimientos del ámbito forestal con las habilidades genéricas y la transmisión del conocimiento.

Según Argudin (2015), la educación por competencias tiene un enfoque sistémico del desarrollo de habilidades y conocimiento, y se puede determinar mediante criterios específicos que permitan la evaluación para establecer la capacidad de construir conocimiento o desempeñar una actividad con un fin específico; con base en lo anterior, se determinó el desarrollo demostrado por los trabajos de grado a partir de los criterios específicos para cada competencia, el cual no superó el 50% en las competencias 1, 2 y 3. Al relacionar este desarrollo con la cantidad de trabajos de grado evaluados en cada competencia, se observó que no presenta una proporcionalidad, el desarrollo de las competencias no depende de la cantidad de trabajos desarrollados en la misma.

Se pudo evidenciar que algunos trabajos de grado en su objetivo general se ubican dentro de una competencia, pero en el desarrollo del trabajo se ajustan a otra; a diferencia de otros que abarcan más de una competencia, sin desarrollar ninguna en su totalidad, lo cual deja varios criterios por fuera y demuestra que las competencias son demasiado amplias y abarcan varios temas que requieren cierta especificidad (Gutierrez, 2000). De la misma manera, los trabajos de grado se enfocan en un criterio o dos y no demuestran un desarrollo total de

la competencia, lo cual no permite que haya una manifestación holística en el que se incluyan todas las dimensiones que esta abarca.

CONCLUSIONES

Se identificaron seis competencias específicas definidas en el Proyecto Educativo del Programa de Ingeniería Forestal, elaboradas en el año 2008 por los docentes de planta del proyecto curricular, las cuales respondían, en su momento, a un plan de estudios diferente al que se implementó en el año 2009 y que se mantiene vigente; sin embargo, estas competencias abarcan muchas temáticas sin llegar a la especificidad, lo cual no permite tener una adecuada evaluación del saber de las competencias demostrado en los trabajos de grado, por ende se hace necesaria la actualización de estas competencias basados en el plan de estudios vigente.

De los sesenta y dos trabajos de grados evaluados, veintidós se clasificaron en la competencia 1, doce en la competencia 2, siete en la competencia 3, quince en la competencia 4, uno en la competencia 5 y dos en la competencia 6; obteniendo un nivel promedio de bajo a moderado; no obstante, los trabajos desarrollados a la luz de las competencias seis y cuatro demostraron una mayor pertinencia, al presentar un mayor grado de desarrollo de los criterios de evaluación y a la especificidad de las competencias; sin embargo, desde una visión general de las competencias el nivel de desarrollo de las mismas es bajo, lo que permite interpretar que la pertinencia también. Esto puede ser resultado de la amplitud de las competencias en las temáticas abarcadas y a que la mayoría de los trabajos de grado se centran en un sólo tema, dejando de lado la interpretación holística del entorno y sus interacciones.

Dentro de los trabajos de grado evaluados, se encontró que en su mayoría no son pertinentes con respecto a las competencias específicas definidas, debido a que en general toman el enfoque de una sola de las asignaturas del plan de estudio y no evalúa su relación con el entorno; esto demuestra que existe una relación y a su vez pertinencia con el plan de estudios, pero dado que las competencias definidas en el PEP no presentan la especificidad suficiente, y la cantidad de temáticas abarcadas por una sola competencia es demasiado amplia, la relación con los trabajos de grado se muestra baja.

De los 62 trabajos de grado evaluados, nueve presentan un nivel de desarrollo de moderado a perfecto, los cuales pueden considerarse como pertinentes, la mayoría de estos corresponden a las competencias cuatro y seis, las cuales son más específicas en las temáticas abarcadas; por otro lado, quince de los trabajos de grado evaluados presentan un nivel de desarrollo menor a uno, lo cual no demuestra una pertinencia mínima con respecto al perfil definido, en su mayoría correspondientes a la competencia uno.

Literatura citada

- Aguilera, L., & Pino, Y. (2015). Metodología para la evaluación de la pertinencia e impacto de las tesis defendidas en la facultad de derecho de la Universidad de Holguín. *Revista de Ciencias Sociales*, 131-164.
- Alsina, J., Arguila, A., Aróztegui, M., Arroyo, J., Badia, M., Carreras, A., ... Vila, B. (2013). *Rubricas para la evaluación de competencias*. Barcelona: Octaedro.
- Argudin, Y. (2015). Educación basada en competencias. *Magistralis*. Vol 20, 39-61.
- Cantillo, E., Rodríguez, K., & E., A. (2004). Diversidad y caracterización florística estructural de la vegetación arbórea en la Reserva Forestal Carpatos (Guasca Cundinamarca). *Colombia Forestal*, 5-21.

- Castaño-Villa, G. (2005). Áreas protegidas, criterios para su selección y problemáticas en su conservación. *Boletín Científico - Centro de Museos - Museo de Historia Natural V10*, 79-101.
- Clavijo, G. (2008). *La evaluación del proceso de formación*. Cartagena: GACC.
- Clavijo, G., Becerra, J., Albarracín, G., & Silva, L. (2009). Historia y creación de la Universidad Distrital y de la Facultad de Ingeniería Forestal. *En ACIF, Historia y Aportes de la Ingeniería Forestal en Colombia*, 27 - 36. Bogotá, Colombia.
- Coll, C. (2007). Las competencias en la educación escolar: algo más que una moda y mucho menos que un remedio. *Aula de Innovación Educativa*, 34-39.
- Corantioquia. (2013). *Plan de ordenación forestal zona de reserva forestal del río Magdalena, bajo Cauca nordeste de Antioquia municipios de Remedios, Segovia, Zaragoza, El Bagre y Nechi*.
- Crespi, A., Fernandes, C., Castro, A., Bernardos, S., Janiak, A., Pereira, A., ... Santos, C. (2003). Propuesta metodológica para la caracterización estructural de las comunidades vegetales y los grupos funcionales. *V17*, 345-358.
- Drake, F. (2009). *La Educación Forestal en América Latina. Realidad y Desafíos para la Formación Profesional del Siglo XXI*. Santiago, Chile: FAO.
- FAO. (2018). *FAO Ámbito prioritario*. Obtenido de Ordenación Forestal Sostenible: <http://www.fao.org/docrep/015/i2763s/i2763S04.pdf>
- Franco, R. (2009). Egresados Forestales, tan Diversos como Dispersos. *Historia y Aportes de la Ingeniería Forestal en Colombia*. Bogotá, Colombia: ACIF.
- Franco, R. (2017). Consulta sobre el cambio de pensum de Ingeniería Forestal en el año 2009; Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Gairín, J., Armengol, C., Gisbert, M., García, M., Rodríguez, D., & Cela, J. (2009). *Guía para la evaluación de competencias en el área de ciencias sociales*. Barcelona: Agència per a la Qualitat del Sistema Universitari de Catalunya.
- García, J. (2011). Modelo educativo basado en competencias: Importancia y necesidad. *Revista electrónica: Actualidades investigativas en educación*, 11(3), 1-24.
- Gutierrez, A. (2000). Educación basada en competencias: ¿Una alternativa de transformación del currículum? *En La educación para el siglo XXI. Un puente en la cuenca del Pacífico* (págs. 143-148). Mexico DF: Biblioteca de la Educación Superior.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2007). *Fundamentos de metodología de la investigación*. Madrid: McGraw Hill.
- ICFES. (2018). *ICFES*. Obtenido de Glosario: <http://www.icfes.gov.co/atencion-al-ciudadano/glosario>
- Iturre, M., & Araujo, P. (2006). *Crecimiento y producción del rodal regular*. Argentina: UNSE.
- Jiménez, C. I. (2011). La formación por competencias: una estrategia integral de educación o un paradigma de la globalización. *UTP*, 35.
- Leython, S., & Ruiz, T. (2006). Caracterización florística y estructural de un bosque estacional en el sector la Trilla, Parque Nacional Henri Pittier, Estado Aragua, Venezuela. *Acta Botánica Venezolana*, 303-314.
- López-Camacho, R. (2008). Productos Forestales no Maderables: Importancia e Impacto de su Aprovechamiento. *Colombia Forestal 11(1)*, 215-231.
- MADS. (2014). *Cartilla orientadora para la gestión del riesgo en incendios forestales en el marco de la Ley 1523 de 2012*.
- Salcedo, A. (2013). Educación Estadística en América Latina: Tendencias y Perspectivas. *Programa de Cooperación Interfacultades. Universidad Central de Venezuela*, 361-384.
- Shirley, H. (1964). La enseñanaza forestal profesional. *Unasylva*, 18(4).
- Tiana, A. (2011). Análisis de las competencias básicas como núcleo curricular en la educación obligatoria española. *Bordón*. 63 (1), 63-75.
- Tobón, S. (2008). La formación basada en competencias en la educación superior: El enfoque complejo. *Universidad Autónoma de Guadalajara*, 30.
- Valderrama, E., Rullán, M., Sánchez, F., Pons, J., Cores, F., & Bisbal, J. (2009). La evaluación de competencias en los trabajos fin de estudios. *XV Jenui*, 405-412.
- Vasco, C. (2003). Objetivos específicos, indicadores de logros y competencias ¿y ahora estándares? *Educación y cultura*, 33-41.
- Young, R. (1994). *Utilización de los productos forestales: tecnología para un uso inteligente*. *Revista Internacional de Silvicultura e Industrias Forestales Vol. 45*. FAO.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

LIVESTOCK GREENHOUSE GASES EMISSIONS UNDER GRAZING CONDITIONS IN THE TROPIC

EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE LA GANADERÍA BAJO CONDICIONES DE PASTOREO EN EL TRÓPICO

Raúl Andrés Molina Benavides¹
Hugo Sánchez Guerrero²
Daniel Mateus³

¹ Zootecnista, M.Sc., D.Sc.

^{2,3} Zootecnista, M.Sc.

^{1,2,3} Universidad Nacional de Colombia - Palmira, Colombia.

¹ ramolinab@unal.edu.co

² hsanchezgu@unal.edu.co

³ dhmateuss@unal.edu.co

ABSTRACT

The livestock activity is linked to processes with environmental repercussions. Methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) are two important greenhouse gases (GHG) emitted into the atmosphere by livestock during the processes of enteric fermentation and excreta management, which contribute to global warming. The objective of this paper was to review the amount of GHG emitted (kg CO₂e) per kg of product generated from the main ruminant species (sheep, goats, buffaloes and bovines) used in tropical areas, under grazing conditions. For small ruminants, according to previous researches, emission intensities (EI) for meat was between 25 - 49.5 kg CO₂e and for milk was within 5.5 and 11.2 kg CO₂e; for buffaloes, EI was among 2.5 - 5.8 kg CO₂e / kg FPCM and 21 - 70 kg CO₂e / kg CW; for meat cattle, EI was amid 21- 76 kg CO₂e; and for dairy cattle, EI was betwixt 2 - 9 kg CO₂e.

The differences found between the regional averages and the data for the same area of a country, can be due to different factors such as the quality of the pastures, level of intensification of the systems and climatic conditions.

Keywords: carbon footprint, emissions intensity, global warming, methane, nitrous oxide, ruminants.

RESUMEN

La actividad ganadera está vinculada a procesos con repercusiones medioambientales. El metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) son dos gases de efecto invernadero (GEI) importantes emitidos a la atmósfera por el ganado durante los procesos de fermentación entérica y manejo de excretas, que contribuyen al calentamiento global. El objetivo de este trabajo fue revisar la cantidad de GEI emitida

(kg CO₂e) por kg de producto generado a partir de las principales especies de rumiantes (ovejas, cabras, búfalos y bovinos) utilizados en áreas tropicales, bajo condiciones de pastoreo. Para los pequeños rumiantes, según investigaciones anteriores, las intensidades de emisión (IE) para la carne estaban entre 25 y 49.5 kg CO₂e y para la leche entre 5.5 y 11.2 kg CO₂e; para los búfalos, la IE estaba entre 2.5 - 5.8 kg CO₂e / kg leche y 21 - 70 kg CO₂e / kg carne; para el ganado de carne, la IE estaba entre

21- 76 kg CO₂e; y para el ganado lechero, la IE fue de 2 a 9 kg de CO₂e. Las diferencias encontradas entre los promedios regionales y los datos para una misma área de un país pueden deberse a diferentes factores, como la calidad de los pastos, el nivel de intensificación de los sistemas y las condiciones climáticas.

Palabras clave: calentamiento global, huella de carbono, intensidad de emisión, metano, óxido nitroso, rumiantes.

INTRODUCTION

Livestock production is the largest user of agricultural lands worldwide, a fact that carries a significant imprint on the natural resources in which it sustains its activity (FAO, 2015). Livestock uses 30% of the non-frozen land surface for grazing, and 33% of the world agricultural area is dedicated to producing food for these animals (FAO, 2006). In terms of water resources, 32% of freshwater is used to provide direct livelihood and economic benefits to at least 1.3 billion producers and retailers (Herrero, Thornton, Gerber & Reid, 2009; Thornton, 2010).

Between 2000 and 2013, the livestock inventory grew; small ruminants such as sheep and goats grew by 10 and 33%, respectively; for their part, cattle grew by 14% and buffaloes by 21% (FAO, 2015). Likewise, global consumption per capita of products derived from livestock activity has more than doubled in the last 40 years (FAO, 2015) and it is estimated that due to the growth of the world population, the trend of better income and urbanization will remain in developing countries (Herrero et al., 2016).

Although the productivity per animal (kg/animal/day) and the crops (t/ha/year) has

intensified in many regions of the world, the expansion of the agricultural frontier has also played a preponderant role in the increase of production, mainly in places in Africa and Latin America. If these trends continue, they could lead to significant increases in biodiversity loss, greenhouse gas emissions and other environmental impacts (Herrero et al., 2016).

In terms of greenhouse gas (GHG) emissions, livestock is an important source in the world, generating carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) throughout the production process. This activity contributes directly through respiration (CO₂), enteric fermentation (CH₄) and manure (CH₄ and N₂O), and indirectly through activities developed during food production (fertilization (N₂O) of crops) and conversion of forests in grasslands (CO₂) (Hristov et al., 2007). It is estimated that the livestock sector contributes with 14.5% of global anthropogenic emissions, where meat and milk represent 41% and 21%, respectively (Gerber et al., 2013).

The tropics dominate the scenario of livestock activity, in terms of the number of animals, total production and number of beneficiaries (producers and consumers) (Oosting, Udo, &

Viets, 2014). Due to its larger inventory, the contribution to greenhouse gas emissions is very relevant worldwide, a fact that has aroused the interest of scientists and decision makers in recent years (Herrero et al., 2011).

Therefore, this article has as main objective to review the contribution of livestock (cattle, buffalo, goats and sheep) in grazing under tropical conditions on greenhouse gas emissions (CO_2 , CH_4 and N_2O). Throughout the paper there will be a brief description about ruminants, what the production process of these gases are, how the livestock activity in pasture is and finally, results found on GHG and EI.

RUMINANTS

Herbivores can be classified into two groups, monogastric and polygastric. The first ones (equines, rabbits and elephants) have only one stomach that does not offer conditions for fermentative digestion. In these species, the fermentation chamber is found in the caecum and in the colon, very well developed organs. The second group have more than one stomach. Polygastric in turn can be classified into Pseudo ruminates and Ruminants. The first ones have two pre-stomachs (reticulum and rumen) and a true stomach (abomasum), in this group there are llamas, camels, alpacas and vicuñas. While, ruminants have three pre-stomachs (reticulum, rumen and omasum) and a true stomach (abomasum), in this group are cattle, sheep, goats, buffaloes, deer, reindeer, giraffes, elk and antelopes (Membrive, 2016). The word Ruminant comes from Latin Ruminare, which means "to chew again".

Ruminants have the ability to obtain their nutrients from plants rich in lignin and cellulose, through the action of specialized microorganisms found in their four compartments. The process begins with the chewing and salivation

of the vegetable mass ingested. This bolus passes to the great rumen, where the muscular action agitates it and mixes it with the microorganisms, there begins the fermentation of the food. The animal then regurgitates this material, chews again, swallows again and so on. This repeated process creates a larger surface area for microorganisms, which continue to digest the food and extract its nutrients (Garnett et al., 2017).

When microorganisms break down and digest carbohydrates, they generate fatty acids, nutrients that the ruminant can absorb into their blood through the walls of the rumen (Garnett et al., 2017). Ruminants obtain between 50 and 70% of their energy from the fatty acids produced in the rumen (Membrive, 2016). During this metabolic process, hydrogen is produced, which is later incorporated into methane (CH_4) that ruminants burp - this is enteric fermentation (Garnett et al., 2017).

The advantage of this metabolic process is that ruminants can digest fibrous material with a high content of structural carbohydrates, such as grass, husks, stems, among others, which monogastric ones such as pigs, chickens and the same people can not digest. The disadvantage is that methane emissions are generated throughout the process.

Greenhouse gases emitted by ruminants

Ruminants contribute with three greenhouse gases, CO_2 , CH_4 and N_2O . Due to this paper focuses on livestock under grazing conditions, the CO_2 emitted by the animals is not considered as it would be counteracted by the CO_2 that is captured by the pastures in the process of photosynthesis and that is released in the form of O_2 . Then, the contribution will be in three ways: enteric methane and methane and nitrous oxide from the handling of excreta (IPCC, 2006).

Enteric methane is produced by fermenting the food within the digestive system of animals (rumen-reticulum). In this digestive process carbohydrates are broken by microorganisms and converted into simple molecules (for example, volatile fatty acids) in order to be absorbed by the bloodstream through the walls of the rumen. During this metabolic process, hydrogen is produced, which is readily incorporated into methane. The amount of CH_4 released depends on the type of digestive tract, age, weight of the animal and the quality and quantity of food consumed. Generally, the higher is the consumption of food, the greater is the emission of methane. The most relevant aspect in methanogenesis is the ratio of acetic acid: propionic acid. 90% of methane production originates in the reticulum-rumen and the remaining 10% is produced in the posterior digestive tract, which is mostly absorbed into the blood, transported to the lungs and expelled through the nose, during breathing. The methane produced in the rumen is eliminated, through the mouth and nose, through belching and breathing (IPCC, 2006).

Methane from excreta (feces and urine) occurs during storage and treatment and the CH_4 that is deposited on the pastures. The amount of CH_4 emitted depends on the amount of excreta produced (production rate and number of animals) and the portion of excreta that is decomposed anaerobically (handling). When excreta are handled in liquid form (lagoons, ponds, tanks, wells), it decomposes anaerobically and can produce significant amounts of CH_4 (temperature, storage and time affect production). When the excreta is handled in solid (piles) or when they are deposited on the pastures, these tend to decompose under more aerobic conditions and less CH_4 is produced (IPCC, 2006).

N_2O emissions from excreta occur in two ways: i) the direct route occurs through a combination of nitrification and denitrification of the nitrogen contained in the excreta. Emissions depend on the nitrogen and carbon content of the excreta, and the duration of storage and its treatment. In summary, the production and emission of N_2O from the excreta handled requires the presence of nitrites or nitrates in an anaerobic environment preceded by aerobic conditions necessary for the formation of these oxidized forms of nitrogen; ii) The indirect way is the result of the losses of volatile nitrogen that occurs mainly in the form of ammonia and NO_x . The fraction of excreted organic nitrogen that is mineralized in ammoniacal nitrogen during manure collection and storage depends mainly on time and, to a lesser degree, on temperature. The simple forms of organic nitrogen such as urea (mammals) and uric acid (poultry) are rapidly mineralized to ammoniacal nitrogen, which is highly volatile and diffuses easily into the surrounding air (IPCC, 2006).

The main source of GHG emissions in ruminant production is CH_4 from enteric fermentation, which represents around 47% of the sector's emissions and more than 90% of the total methane emissions. The N_2O emissions from food production and N deposited during grazing (feces and urine) account for 24% of GHG emissions from the sector (Opio et al., 2013).

Cattle are the main contributor of GHG (65%) of the livestock sector globally, while pigs, chickens, buffaloes and small ruminants have lower levels of emission, each one represents between 7 and 10% of the total emissions of the sector (Gerber et al., 2013).

LIVESTOCK SYSTEMS IN THE TROPICS

Livestock represents 30% of the agricultural surface through the direct use of pastures and the crops for their feeding (Herrero et al., 2013). Although, a small proportion of the grassland is dedicated to the intensive production of ruminants, 80% of these are associated with extensive grazing systems. These are found predominantly in areas of low rainfall, both in temperate and tropical regions and often in developing countries (Roxburgh & Pringle, 2015).

The tropics dominate the global scenario of this activity, in terms of the number of animals, total production and number of beneficiaries, when compared to the livestock production of the western world (Oosting et al., 2014).

Livestock feeding in the tropics generally depends on low quality forages, often deficient in nitrogen and digestible energy, which limits animal productivity and increases greenhouse gas emissions (Chaokaur, Nishida, Phaowphisal & Sommart, 2015). Pastures with high levels of fiber negatively affect the degradability of the vegetal material at the ruminal level, which has a direct effect on the increase of the excretion of nutrients and on the enteric emissions of CH₄. Additionally, the low quality of the pastures affects the assimilation of the nitrogen contributed in the diet, therefore, the losses of this mineral are greater through urine and manure (Molina, Sanchez, Campos, Atzori, & Morales, 2017).

Livestock can be raised in different systems, and these can be classified according to the extension in which livestock is associated with

crops, type of animal, food source and agro-ecological zone, among others. However (Seré and Steinfeld, 1996), for ease have classified the production systems in three main categories:

Mixed crop-livestock systems: They are those in which less than 90% of the dry matter of the food for the animals comes from pastures; the rest can come from crop byproducts, crop residues, woody crops and grains. From the economic component, more than 10% of the total value of production comes from activities not related to livestock.

Landless systems: Systems in which less than 10% of the dry matter of the food offered to the animals is produced on the farm. The food offered is commercial, a mixture of cereals and oilseeds.

Grazing systems: In these systems, more than 90% of the dry matter of the food offered to the animals comes from the pastures. The other 10% of the diet can come from supplementation (hay, molasses and other supplements). From the economic component, less than 10% of the total value of production comes from activities not related to livestock.

It is widely recognized that an increase in GHG concentrations in the atmosphere can cause global warming. This effect can have an impact on the production and quality of the crops, even more, for livestock systems under grazing and mixed conditions. In figure 1, we can observe the feedback process that arises between livestock activity, crops (including pastures), GHG emissions and global warming.

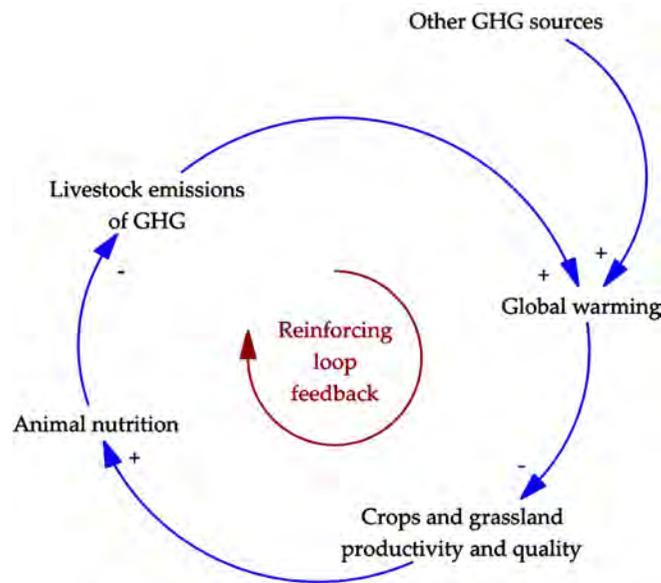


Figure 1. Causal diagram showing the reinforcement feedback loop that is formed between global warming, crops and livestock.

For understanding figure 1, the convention for drawing a causal loop diagram is simple, consisting of a set of variables connected by arrows denoting the causal influence. The arrow always part of the independent variable (A) to the dependent variable (B). Each arrow is assigned a polarity (+/-) indicating the variable B changes as a function of the variable A (all other variables assumed constant). If the sign is +, the two variables move in the same direction; if the sign is -, the two variables move in opposite directions. In some cases, where the variable part of the causal arrow can become site arrival of a causal link, giving rise to a feedback loop. These loops are also assigned polarity. If the number of negative causal relationships is even, the loop is reinforcing (R / +), otherwise it will balance (B / -). Balance loops seek to regulate the system, reinforcing loops promote the growth or decline of the same (Molina, Sánchez, & Atzori, 2018).

METHODS TO ESTIMATE THE GREENHOUSE GASES PRODUCED BY LIVESTOCK

Estimating the environmental impact of a human activity is complex, since there is a

variety of interrelationships between the infrastructure, the surrounding environment and the chemical and biological processes that regulate. There are special difficulties when estimating the environmental impact of agricultural systems, since agriculture is both a great source and at the same time a sink for pollutants or substances for the environment. In addition, there is a wide variety of farming systems and techniques for measuring nutrients or gas emissions are often too sophisticated to be used in commercial farms (Pirilo & Caré, 2013). Although there is clear evidence that agriculture plays a minor role compared to the energy sector of developed countries, there is great concern about greenhouse gas emissions from livestock (Steinfeld et al., 2006).

Greenhouse gases are the gaseous components of the atmosphere, both natural and anthropogenic, that absorb and emit radiation at certain wavelengths of the infrared radiation spectrum (IPCC, 2001). The modification in the composition of gases (water vapor, carbon dioxide, nitrous oxide, methane and ozone) in

the atmosphere has led to climatic alterations in relation to its historical behavior, known as Climate Change (Gerber et al., 2013).

Depending on the approaches used and the coverage of emissions, estimates from various sources (IPCC, FAO, EPA, among others) account that livestock contributes to global anthropogenic emissions between 7 and 18% (Hristov et al., 2013).

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) developed the concept of global warming potential (GWP) to compare the ability of each GHG to trap heat in the atmosphere relative to other gases. The GWP of a GHG is defined as the ratio in time between the integrated radiative forcing and the instantaneous release of 1 kg of the trace substance in relation to that of 1 kg of a reference gas. The reference gas used is CO₂, therefore, the weighted emissions of GWP are measured in CO₂ equivalent (IPCC, 2006). The transformation of GHG to CO₂e is done using the equivalences proposed by the IPCC (IPCC, 2007), where 1 kg CO₂ = 1 kg CO₂e; 1 kg CH₄ = 25 kg CO₂e and 1 kg N₂O = 298 kg CO₂e.

The total amount of GHGs emitted by an organization, activity, product, service or person is known as a carbon footprint (Rotz, Montes, & Chianese, 2010). The objective of this footprint is to compare the environmental performance of two or more production systems in order to explore the possibilities of reducing emissions. This footprint can also be used as an indicator of progress at the farm and regional level in the efficient use of natural resources (Pirlo & Caré, 2013). Generally, this footprint is expressed in kilograms or tons of CO₂e. When this amount of gases emitted we dilute them by the amount of product generated, we speak of emission intensity (EI), which is expressed in kg CO₂e / kg of product.

Among the methodologies used to estimate GHG emissions from livestock, stand out the proposal by the IPCC, which estimates the emissions of methane (enteric and excreta) and nitrous oxide (excreta management) within the production system (IPCC, 2006); and the life cycle analysis method, which includes additional sources in the supply chain, from product conception to retail, emissions arise from food production and animal husbandry as well as from processing and transport of livestock products to the market (FAO, 2010).

EMISSIONS OF THE RUMINANTS

GHG emissions from small ruminants

The production systems of small ruminants (sheep and goats) are important because they can be developed in areas with difficult landscapes where other activities could not be carried out, and the products generated by them (milk and meat) are an invaluable source of protein (Zervas & Tsiplakou, 2012). Sheep and goats represent 56% of the world population of domestic ruminants (Marino et al., 2016). According to (Steinfeld *et al.* 2006), the stock of sheep and goats in developing countries represents 76% of the world population.

At a global level, small ruminants contribute 6.5% of GHG emissions in the livestock sector, of which 62% is attributed to meat production and 27% to milk production (Marino et al., 2016). With 428.8 million tons of CO₂e emitted, 59% is attributed to the production of sheep while the rest is attributed to the production of goats (Opio et al., 2013). Above 55% of the emissions of small ruminants (milk and meat) is attributed to enteric fermentation, 35% is assigned to food production, while emissions from excreta management are very low, because the animals deposit their feces on the pastures (Gerber et al., 2013).

On average, the EI of small ruminates dedicated to milk production is 6.5 kg of CO₂e / kg FPCM (milk corrected for its fat and protein content to a standard of 4.0 percent fat and 3.3 percent protein. This is a standard used for comparing milk with different fat and protein contents. It is a means of evaluating milk production of different dairy animals and breeds on a common basis), 5.2 kg CO₂e for goats and 8.4 kg CO₂e for sheep. This difference is due to the greater production of milk by goats. In terms of meat production, EI are very similar, 24 kg CO₂e / kg CW (carcass weight) for sheep and 23.5 kg

CO₂e / kg CW for goats (Opio et al., 2013).

In terms of production systems, small ruminants have higher EI, both in milk and meat, in grazing systems than in mixed systems (7.6 vs 6.6 kg CO₂e / kg FPCM and 24 vs 23.2 kg CO₂e / kg CW) (Opio et al., 2013).

Table 1 shown average emission intensity (kg CO₂e / kg product) and contribution of CH₄ and N₂O from this EI for tropical areas of Latin America and Africa (Zhu, Kros, Lesschen, Staritsky, & de Vries, 2016).

Table 1. Average emission intensity (EI) for tropical areas of Latin America and Africa.

	Latin America		Africa	
	Sheep and Goat (meat)	Sheep and Goat (milk)	Sheep and Goat (meat)	Sheep and Goat (milk)
EI (kg CO₂e)	49.55 (CV: 0.16)	7.63 (CV: 0.17)	32.32 (CV: 0.19)	6.59 (CV: 0.19)
CH₄ (%)	59.6	58.8	63.5	63.7
N₂O (%)	38.5	39.3	36.16	36.1

Comparing these values with the global average, the emissions generated in meat production systems in LA and Africa, on average, are 70% higher, and for those generated by systems dedicated to milk production are above 4.5%. This difference can be attributed to the quality of the tropical pastures with higher amounts of structural carbohydrates, higher slaughter ages of the animals and lower milk yields (Gerber et al., 2013; Opio et al., 2013).

(Opio *et al.* 2013) found in South Asia, East and North Africa and Latin America, EI 29, 27.9 and 25.5 kg CO₂e, respectively, for meat production. The same author found for milk production systems, EI between 9.3 and 11.2 kg CO₂e for the East and North Africa, and between 5.5 and 9.6 kg CO₂e for Latin America and the Caribbean (LAC). (Gerber *et al.*

2013) found for sub-Saharan Africa and East and North Africa, EI 8.7 and 6.9 kg CO₂e / kg FPCM, respectively. The difference between EI (meat) found by these authors in reference to the overall general average was lower than that found by (Zhu *et al.* 2016), showing increases of 7%, 17.5% and 22% for LA, East and North Africa and South Asia, respectively. However, for systems dedicated to milk production, the increase with respect to the global average was greater, finding differences of 11% (LAC), 27% (Sub-Saharan Africa) and 50.7% (East and North Africa).

GHG emissions from Buffaloes

Buffaloes are present in all parts of the world, however their largest population is found in developing countries, mainly in the continents of Asia and Africa, where the meat and milk of

these animals play an important role in feeding of the local populations (Cawthorn & Hoffman, 2014).

Between 2000 and 2013, the population of buffaloes grew by 21.7%, from 164,114,000 to 199,784,000 heads of animals (FAO, 2015). Only South Asia produces 90% and 70% of world milk and meat, respectively (Opio et al., 2013). This productive activity contributes with 0.6 GtCO₂e annual (Herrero et al., 2016).

Enteric fermentation remains the most important source of emission, with contributions above 60% of all emissions, both for milk and for meat production (Opio et al., 2013). This enteric CH₄ is a byproduct of fiber hydrolysis and fermentation processes that take place in the four stomachs of ruminants, which allows animals to obtain fatty acids and proteins from forages (Pirlo, Terzano, Pacelli, Abeni, & Carè, 2014).

On average, the EI for the buffalo cattle activity at a global level is 3.4 kg CO₂e for milk and 53.4 CO₂e for meat (Opio et al., 2013). In terms of production systems, EI for grazing systems and mixed systems is very similar, 3.4 and 3.2 kg CO₂e / kg FPCM, respectively. However, for systems dedicated to meat production, this EI is broader, presenting values of 36.7 kg CO₂e for grazing systems and 54 kg CO₂e in mixed systems (Opio et al., 2013).

In tropical areas of Asia and Africa, EI for milk production varied between 2.5 and 5.8 kg CO₂e. Regarding systems dedicated to meat production, EI had a wider range, between 21 kg CO₂e in East and North Africa and 70.2 kg CO₂e in South Asia (Gerber et al., 2013; Opio et al., 2013; Garg, Phondba, Sherasia, & Makkar, 2016). The differences found in the emissions per kg of product may be due to the quality of the food offered to the animals (forages with higher fiber content), different management

systems and climatic conditions for each locality (Gerber et al., 2013).

GHG emissions from meat cattle

Meat has become an important source of protein in the diet of human beings, especially in industrialized countries. About 58% of the protein included in the diet of the countries comes from livestock products, of which about 12% is meat (FAOSTAT, 2017). World demand for meat is expected to increase sharply due to the exponential growth of the human population, better incomes and increased urbanization, especially in developing countries (Alexandratos & Bruinsma, 2012).

The population of cattle has reached approximately an inventory of 1,500 million heads, achieving an increase of 14.6% from the year 2000 to 2013 (FAO, 2015). The production of beef cattle has increased in the last three decades almost 40% throughout the world, with America being one of the regions that led this development (FAOSTAT, 2017).

Cattle dedicated to meat production contribute 2.5 Gt of CO₂e per year, equivalent to 41% of total emissions from the livestock sector [8]. The largest GHG emissions are produced in Latin America and the Caribbean with more than 800 million tons per year, followed by North America, East and Southeast Asia and South Asia with 400, 380 and 280 million tons per year, respectively (Gerber et al., 2013).

Regarding the emission intensity of meat, the overall average is 46.2 kg CO₂e / kg CW, of which more than 42% is attributed to enteric fermentation, the rest is shared between the handling of excreta, fertilization and land use change (Opio et al., 2013).

For the type of systems in which the activity is managed, the EI varies from 42 kg CO₂e /

kg CW in grazing systems to 38.4 kg CO₂e / kg CW in mixed systems. This difference between systems can be due to several factors, among which are time of slaughter, age of calving and better quality of food (Opio et al., 2013).

In developing countries, EI systems dedicated to meat production have the highest values (Caro et al., 2016; Gerber et al., 2013; Patra, 2014). In the last four decades, emissions from

these countries almost doubled, going from 663.95 million t CO₂e in 1961 to 1286.60 million t CO₂e in 2010; while the emission per ton of meat was reduced, from 75.37 t CO₂e / t product in 1961 to 35.48 t CO₂e / t product in 2010 (Caro, Davis, Bastianoni, & Caldeira, 2014).

Figure 2, is shown in descending order, the highest emissions per kg of product, on average, in different regions (Gerber et al., 2013).

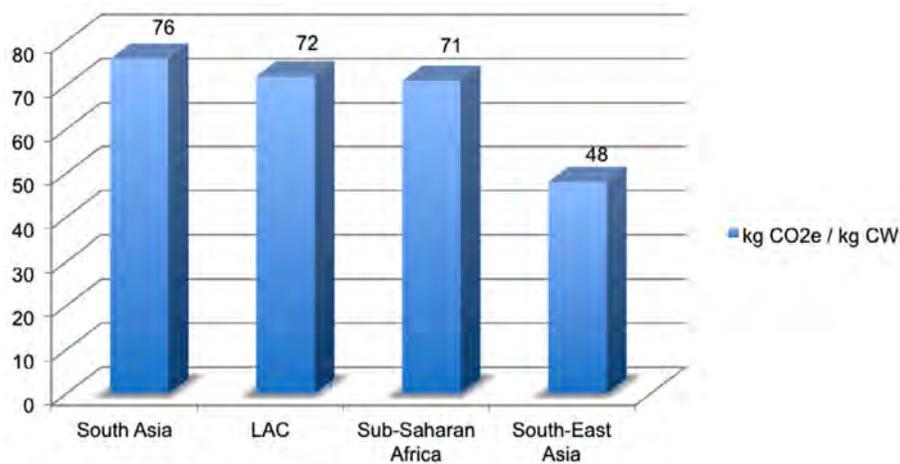


Figure 2. Emissions of CO₂e per kg of product in different tropical regions.

However, studies conducted in countries in these regions show emission intensities lower than their averages, for example the case of (Rivera, Guereca, & Rubio, 2016), who found EI of 21 kg CO₂e / kg CW in the state of Veracruz - Mexico; (Dick, Abreu, & Dewes, 2015) found in Brazil, EI of 22.52 kg CO₂e / kg CW in systems based on natural pastures; (Mazzetto, Feigl, Schils, & Cerri, 2015) obtained for the north of Brazil, EI in extensive and semi-extensive systems of 49 and 48 kg CO₂e / kg CW, respectively. The differences found between the regional averages and the point data for an area of a country can be mainly due to the quality, quantity and level of detail of the information used for the estimate (Molina et al., 2017). On the other hand, the differences found between the EI of the same country

or between countries, may be due to the different qualities of the pastures offered to the animals, ages at slaughter, level of intensification, climatic conditions, among others (Gerber et al., 2013; Opio et al., 2013).

GHG emissions from dairy cattle

The demand for dairy products in developing countries is directly proportional to the dynamics of its population, however the productivity of the animals (1300 - 5000 kg / milk / cow / year) has remained stable, a fact that has promoted the increase in livestock inventory to meet this need, opposite case in developed countries where productivity per animal has grown steadily in the last 30 years and the stock of livestock has decreased (Alexandratos

& Bruinsma, 2012; Lehrman et al., 2014; Wolf et al., 2016).

Of the proportion of GHG (14.5%) of anthropogenic origin that contributes the livestock, 21% is attributed to the bovines dedicated to the production of milk. At a global level, the emission intensity for dairy cattle is 2.8 kg CO₂e / kg of FPCM (Gerber et al., 2013). However, emissions per unit of product generated vary

widely between regions, with a range between 2 and 9 kg CO₂e (Opio et al., 2013). This range of values differs widely with those reported for beef cattle. The difference between the components of the carbon footprint for dairy cattle and beef cattle can be seen in Figure 3, where methane produced in enteric fermentation remains the largest contributor with more than 40% of the total, for both types of cattle.

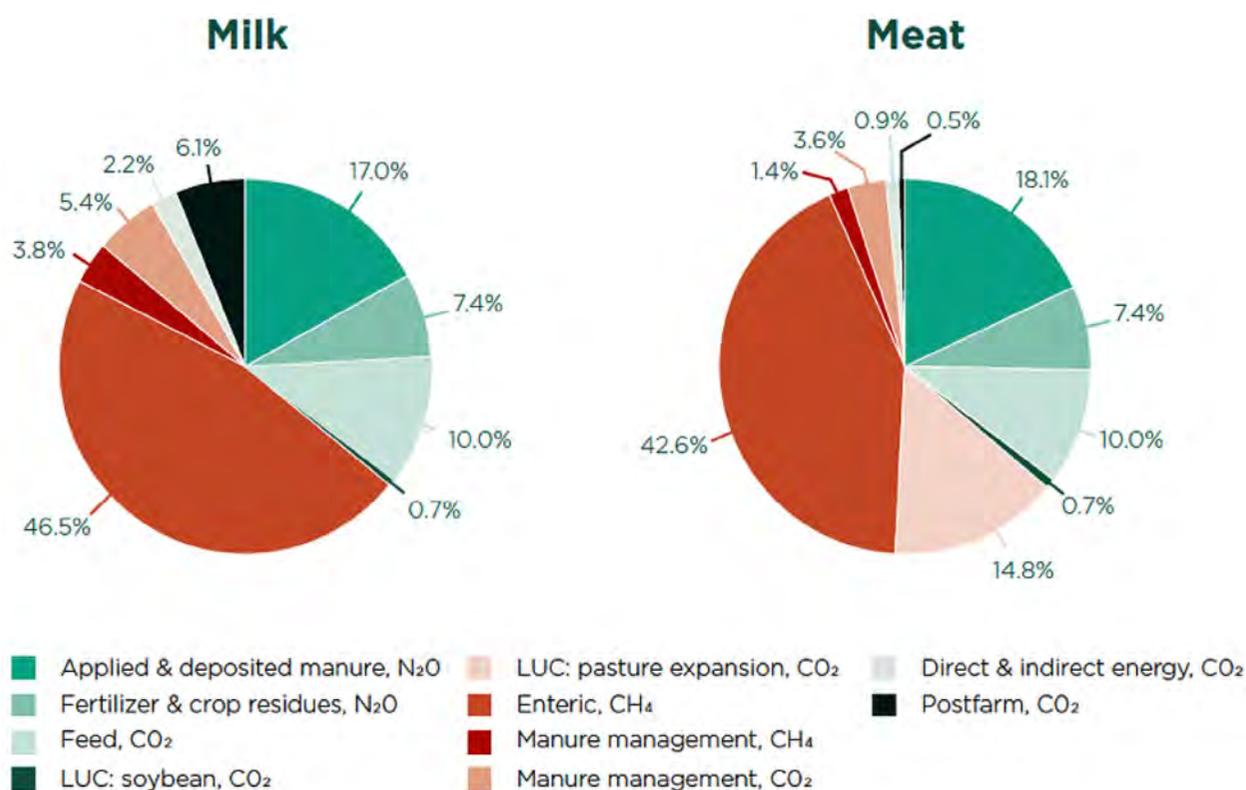


Figure 3. Breakdown of global greenhouse gas emissions attributable to cattle milk and meat by emissions source and gas type (Gerber *et al.* 2013)

Regarding the type of system, the average EI for grazing systems was 2.9 kg CO₂e / kg FPCM compared to 2.5 kg CO₂e / kg FPCM for mixed systems. This difference between systems can be explained by several factors such as age at

first calving, quality of food and management (Opio et al., 2013).

Table 2 show average emission intensities for different tropical regions by different authors.

Table 2. Emission intensities (kg CO₂e / kg FPCM) for different tropical regions

Area	kg CO ₂ e / kg FPCM	Reference
Sub-Saharan Africa	7.5	[8]
South Asia	4.6	[8]
Near East and North Africa	3.7	[8]
Sub-Saharan Africa	9	[14]
South Asia	5.3	[14]
Near East and North Africa	4.3	[14]
LAC	3.9	[14]

However, studies conducted in countries in these regions show EI lower than their averages, as for example in Kenya, (Weiler, Udo, Viets, Crane, & De Boer, 2014) found EI of 2 kg CO₂e / kg FPCM; (FAO & New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Center, 2017), found average EI of 7.1, 2.1 and 4.1 kg CO₂e / kg FPCM for extensive, intensive and semi-intensive management systems, respectively. (Molina et al., 2017) found for the department of Valle del Cauca - Colombia, EI between 5 and 6.3 kg CO₂e / kg FPCM, for grazing systems. (Gaitán, Läderach, Graefe, Rao, & van der Hoek, 2016) reported for the department of Matagalpa - Nicaragua, average EI of 2.4 kg CO₂e / kg FPCM, of which between 53-67% are attributed to enteric fermentation, 13-17% nitrous oxide of the excreta and 8-15% of the fertilization. The differences found in the EI between regions, countries and within countries can be explained by the levels of intensification of the herds, productivity per animal (EI are inversely proportional to productivity), quality of the food offered to the animals, climate, among other.

MITIGATION OPPORTUNITIES

The mitigation potential of the livestock sector could represent up to 50% of the global mitigation potential of the agriculture, forestry and land-use sector (Herrero et al., 2016).

There are technologies and practices that help reduce greenhouse gas emissions by livestock but that unfortunately are not widely used. The emissions per unit of animal product vary widely among production systems, even located in the same areas, a fact that could be explained by the different livestock practices used.

Among the practices and technologies that can be used to reduce emissions are:

1. Genetic selection of animals (Forabosco, Chitchyan, & Mantovani; 2017; Gerber et al., 2013; Hristov et al., 2013):
 - Better feed conversions (kg product generated / kg DM intaked)
 - More efficient in the use of the natural resources they use
 - Better reproductive parameters (fertility, age at first calving, calving interval)
 - Better animal health and reduced mortality and morbidity are expected to increase herd productivity and reduce GHG emission intensity in all livestock production systems
2. Reduction of herd size would increase feed availability and productivity of individual animals and the total herd, thus lowering CH₄ emission intensity (Hristov et al., 2013).

3. Use of highly digestible forages. Increasing forage digestibility and digestible forage intake will generally reduce GHG emissions from rumen fermentation, when scaled per unit of animal product (Hristov et al., 2013). This aspect is important, mainly where the quantities of lignin are high due to the incorrect agronomic management of their pastures. When forage digestibility increases, enteric fermentation and feces production decrease, resulting in reductions in CH₄ and N₂O (Forabosco et al., 2017; Gerber et al., 2013).
4. Use of feed additives. Several chemical compounds, such as alternative electron receptors, ionophoric antibiotics, enzymes and probiotic cultures, have been tested for their ability to decrease CH₄ emissions, mainly in short-term; their effects are often much reduced in the long term due to adaptation of the rumen microbial ecosystem (Herrero et al., 2016).
5. Silvoparil systems as an alternative to achieve GHG decreases per unit of product generated. The inclusion of shrubs such as *Leucaena leucocephala* and *Tithonia diversifolia* for animal feed, optimization in fertilization (reduction in the use of chemical fertilizers), balance of the diet that decreases the excretion of nitrogen. On the other hand, the implementation of agroforestry systems creates a microclimate in paddocks that allows animals to mitigate the heat stress caused by high temperatures due to climate change (Lerner, Zuluaga, Chará, Etter, & Searchinger, 2017).
6. Soil carbon sequestration. Grazing-land management practices that affect species composition, forage consumption, nutrient and water inputs and fire can impact soil carbon stocks. Excessive removal of

aboveground biomass, continuous grazing at suboptimal stocking rates and other poor grazing management practices that result in a mismatch between forage supply and animal demands have led to the depletion of soil carbon stocks (Herrero et al., 2016).

CONCLUSIONS

The review carried out on the contribution of greenhouse gases (CH₄ and N₂O) emitted by livestock (sheep, goats, cattle and buffalo) practiced in tropical areas indicates that the emission intensities vary between medium and high, due to low productivity of animals, poor quality of food and lack of knowledge about appropriate technologies for the zone. The differences found in EI between regions, countries within the same region and places within the same country, are indicative that reducing GHG production by livestock is possible.

IPCC and LCA methodologies are important tools used to estimate GHG emissions from livestock, providing an important starting point to calculate its contribution and understanding the sector's potential for mitigating emissions; however, is very important including soil carbon sequestration in this tools, especially in farming systems where grasslands are a substantial resource for animal feeding with high potentials of carbon sequestration.

Livestock in tropical areas is associated with extensive systems generating large amounts of greenhouse gases, therefore, a shift towards more intensive management, improvement of pastures and inclusion of agroforestry, improvement of diet and selection of more efficient animals, could cause significant reductions in emissions.

Emission of CH₄ from enteric fermentation was the major hotspot in livestock systems. Improving forage quality and the overall

efficiency of dietary nutrient use is an effective way of decreasing GHG emissions per unit of animal product.

Finally, management strategies adaptable to the conditions of the zones and economically viable should be sought that provide benefits in terms of adaptation to climate change, mitigation of GHG emissions, and that increase the productivity and profitability of farmers located in tropical areas.

LITERATURE CITED

- Alexandratos, N., Bruinsma, J. World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 Revision. 2012. FAO, Rome, ESA Working paper No. 12-03.
- Caro, D., Davis, S.J., Bastianoni, S. & Caldeira, K. Global and regional trends in greenhouse gas emissions from livestock. 2014. *Clim. Change* 126, 203-216. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1197-x>.
- Cawthorn, D. & Hoffman, L. The role of traditional and non-traditional meat animals in feeding a growing and evolving world. 2014. *Anim. Front.* 4, 6-12.
- Chaokaur, A., Nishida, T., Phaowphaisal, I., Sommart, K. Effects of feeding level on methane emissions and energy utilization of Brahman cattle in the tropics. 2015. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 199 (2015) 225-230. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2014.09.014>
- Dick, M., Abreu, M., Dewes, H. Life cycle assessment of beef cattle production in two typical grass land systems of southern Brazil. 2015. *J. Clean Prod.* 96, 426-434. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.080>.
- FAO. Livestock's long shadow: Environmental Issues and Options. 2006. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2006.
- FAO. Greenhouse Gas Emissions From the Dairy Sector: A Life Cycle Assessment. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2010.
- FAO. Statistical pocketbook world food and agriculture. 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2015. ISBN 978-92-5-108802-9.
- FAO. The State of Food and Agriculture: Livestock in the Balance. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2015.
- FAO & New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre. Options for low emission development in the Kenya dairy sector - reducing enteric methane for food security and livelihoods. 2017. Rome. 43 pp. ISBN 978-92-5-109878-3.
- FAOSTAT. 2013. Electronic Database of the Food and Agriculture Organization of the UN. Accessed november 2017. <http://faostat.fao.org/>.
- Forabosco, F., Chitchyan, Zh., & Mantovani, R. 2017. Methane, nitrous oxide emissions and mitigation strategies for livestock in developing countries: A review. 2017. *South African Journal of Animal Science* 2017, 47 (No. 3). <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v47i3.3>
- Gaitán, L., Läderach, P., Graefe, S., Rao, I., van der Hoek, R. Climate-Smart Livestock Systems: An Assessment of Carbon Stocks and GHG Emissions in Nicaragua. 2016. *PLoS ONE* 11(12): e0167949. doi:10.1371/journal.pone.0167949.
- Garg, M., Phondba, B., Sherasia, P., Makkar, H. Carbon footprint of milk production under smallholder dairying in Anand district of Western India: A cradle-to-farm gate life cycle assessment. 2016. *Anim. Prod. Sci.* 56, 423-436. <http://dx.doi.org/10.1071/AN15464>.
- Garnett, T., Godde, C., Muller, A., Röös, E., Smith, P., de Boer, I., zu Ermgassen, E., Herrero, M., van Middelaar, C., Schader, C., van Zanten, H. Grazed and confused? Ruminating on cattle, grazing systems, methane, nitrous oxide, the soil carbon sequestration question – and what it all means for greenhouse gas emissions. 2017. FCRN-Food Climate Research Network.
- Gerber, P.; Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., Tempio, G. 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. E-ISBN 978-92-5-107921-8.
- Herrero, M., Thornton, P. K., Gerber, P. & Reid, R. S. Livestock, livelihoods and the environment: understanding the trade-offs. *Curr. Opin. Environ. Sust.* 1, 111-120 (2009). <https://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2009.10.003>.

- Herrero M, Gerber P, Vellinga T, Garnett T, Leip A, Opio C, Westhoek HJ, Thornton PK, Olesen J, Hutchings N, Montgomery H, Soussana J-F, Steinfeld H and McAllister TA. 2011. Livestock and greenhouse gas emissions: the importance of getting the numbers right. *Animal Feed Science and Technology* 166–167, 779–782. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2011.04.083.
- Herrero M, Havlík P, Valin H et al. Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. 2013. *Proc Natl Acad Sci USA* 110:20888–93. doi:10.1073/pnas.1308149110.
- Herrero, M., Henderson, B., Havlík, P., Thornton, P., Conant, R., Smith, P., Wiersenius, S., Hristov, A., Gerber, P., Gill, M., Butterbach, K., Valin, H., Garnett, T., Stehfest, E. Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. 2016. *Nature climate change*. DOI: 10.1038/nclimate2925. P. 1-10.
- Hristov, A.N., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A., Yang, W., Tricarico, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J. & Oosting, S. Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production – A review of technical options for non-CO2 emissions. 2013. Edited by Pierre J. Gerber, Benjamin Henderson y Harinder P.S. Makkar. *FAO Animal Production and Health Paper No. 177*. FAO, Rome, Italy. E-ISBN 978-92-5-107659-0.
- IPCC. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2001. [Houghton, J.T., et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp.
- IPCC. 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 10. Emissions from livestock and manure management*. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. 2007. *The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Chapter 2: Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing*. 2007. pp. 105.
- Lehrman, A., Chatzopoulou, S., Feng, L., Forabosco, F., Elisabeth, J., Konstantinos, Karantininis Levander, F., Nicolía, A., Rydhmer, L., Röcklinsberg, H., Sandin, P., Sundström, J. & Zhu, L.-H. Shaping our food – an overview of crop and livestock breeding. 2014. *Mistra Biotech* 1, 8-88.
- Lerner, A., Zuluaga, A., Chará, J., Etter, A., Searchinger, T. Sustainable cattle ranching in practice: Moving from theory to planning in Colombia's livestock sector. 2017. *Environmental Management* (2017) 60:176–184. DOI 10.1007/s00267-017-0902-8.
- Marino, R., Atzori, A., D'Andrea, M., Iovane, G., Trbalza, M., Rinaldi, L. Climate change: production performance, health issues, greenhouse gas emissions and mitigation strategies in sheep and goat farming. 2016. *Small Ruminant Research* 135 8 (2016) 50-59. <http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.12.012>.
- Mazzetto, A., Feigl, B., Schils, R., Cerri, C.E., Cerri, C. Improved pasture and herd management to reduce greenhouse gas emissions from a Brazilian beef production system. 2015. *Livestock Science* 175 (2015) 101-112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2015.02.014>.
- Membrive, C. Anatomy and physiology of the rumen. 2016. D.D. Millen et al. (eds.), *Rumenology*, DOI 10.1007/978-3-319-30533-2_1. Pp 1-38.
- Molina, R., Sánchez, H., Campos, R., Atzori, A., Morales, J. Dynamic estimation of greenhouse gas emissions from bovine livestock of Valle del Cauca, Colombia. 2017. *Acta Agron. (2017)* 66 (3) p 422-429. doi.org/10.15446/acag.v66n3.58266.
- Molina, R. A., Sánchez, H., & Atzori, A. S. (2018). A conceptual model to describe heat stress in dairy cows from actual to questionable loops. *Acta Agronomica*, 67(1), 59-64. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n1.60612>.
- Oosting, S., Udo, H., Viets, T. Development of livestock production in the tropics: farm and farmers' perspectives. 2014. *Animal*, page 1-11. doi:10.1017/S1751731114000548.
- Opio, C., Gerber, P., Mottet, A., Falcucci, A., Tempio, G., MacLeod, M., Vellinga, T., Henderson, B. & Steinfeld, H. Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains – A global life cycle assessment. 2013. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*, Rome. E-ISBN 978-92-5-107945-4.
- Patra, A.K. Trends and projected estimates of GHG emissions from indian livestock in comparisons with GHG emissions from world and developing countries. 2014. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 27, 592-599. <http://dx.doi.org/10.5713/ajas.2013.13342>.

- Pirlo, G., Caré, S. A simplified tool for estimating carbon footprint of dairy cattle milk. 2013. *Ital J Anim Sci* vol.12:e81, 2013. Pp 497-506. <https://doi.org/10.4081/ijas.2013.e81>.
- Pirlo, G., Terzano, G., Pacelli, C., Abeni, F., Carè, S. Carbon footprint of milk produced at Italian Buffalo farms. 2014. *Livestock Science* 161 (2014) 176 – 184. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2013.12.007>
- Rivera, A., Guereca, L., Rubio, M. Environmental impact of beef production in Mexico through life cycle assessment. 2016. *Resources, Conservation and Recycling* 109 (2016) 44-53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.01.020>.
- Rotz, C., Montes, F., Chianese D. 2010. The carbon footprint of dairy production systems through partial life cycle assessment. *Journal of Dairy Science* 93; 1266-1282. doi: 10.3168/jds.2009-2162.
- Roxburgh CW and Pratley JE 2015. The future of food production in the rangelands: challenges and prospects for research investment, organization and human resources. *The Rangeland Journal* 37, 125–138. <https://doi.org/10.1071/RJ14090>.
- Seré, C. & Steinfeld, S. World livestock production systems: current status, issues and trends. 1996. FAO. Animal Production and Health Paper 127. Food and Agriculture Organisation, Rome.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., De Haan, C., 2006. *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. FAO Publ., Roma, Italy.
- Thornton, P. K. Livestock production: recent trends, future prospects. 2010. *Phil. Trans. R. Soc. B* 365, 2853–2867. doi: 10.1098/rstb.2010.0134.
- Weiler, V., Udo, H., Viets, T., Crane, T. & De Boer, I. Handling multi-functionality of livestock in a life cycle assessment: The case of smallholder dairying in Kenya. 2014. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 8, 29-38. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2014.07.009>
- Wolf, P., Groen, E., Berg, W., Prochnow, A., Bokkers, E., Heijungs, R., de Boer, I. Assessing greenhouse gas emissions of milk production: which parameters are essential? 2016. *Int J Life Cycle Assess.* DOI 10.1007/s11367-016-1165-y
- Zervas, G., Tsiplakou, E. An assessment of GHG emissions from small ruminants in comparison with GHG emissions from large ruminants and monogastric livestock. 2012. *Atmospheric Environment* 49 (2012) 13-23. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.11.039.
- Zhu, B., Kros, J., Lesschen, J., Staritsky, I., de Vries, W. Assessment of uncertainties in greenhouse gas emission profiles of livestock sectors in Africa, Latin America and Europe. 2016. *Reg Environ Change* (2016) 16:1571-1582. DOI 10.1007/s10113-015-0896-9.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

REDUCCIÓN DEL NIVEL DE POTASIO EN VINAZA DE DESTILERÍA UTILIZANDO RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO

REDUCTION OF THE POTASSIUM LEVEL IN THE DISTILLATION VINASSE USING ION EXCHANGE RESIN

**Luisa Fernanda Torres Gaviria¹, Juan Camilo Ocampo Vélez²,
Alcira Socarrás Cárdenas³**

^{1,2} Química Industrial, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

³ Ing. Msc Química, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

¹ luifertorres@utp.edu.co

² camilolds52@hotmail.com

³ a.socarras@utp.edu.co

RESUMEN

En la producción de azúcar a partir de caña de azúcar se genera un subproducto denominado melaza, el cual es utilizado para la elaboración de alcohol carburante y este a su vez genera un nuevo residuo denominado vinaza. En promedio, se generan de 10 a 15 litros de vinaza por cada litro de alcohol producido. La vinaza tiene un alto contenido de materia orgánica y de micronutrientes que si no se manejan adecuadamente pueden contaminar el medio ambiente. Dentro de estos minerales se encuentra el potasio entre 10 y 18 mg/ml aproximadamente, el cual limita la utilización de la vinaza como fertilizante debido a que puede contaminar fuentes de agua y suelo con potasio y esto a su vez, restringe su utilización como componente en las formulaciones para concentrados de animales. Por tal razón, en el presente trabajo se realizó la disminución de potasio en vinazas provenientes de destilería

de un ingenio azucarero de la región utilizando resina de intercambio catiónica fuerte y luego se utilizó una solución de ácido sulfúrico 4% como eluente para regenerar la resina de intercambio. Se obtuvo una disminución entre 97 – 98 % del contenido inicial del potasio en la vinaza y una recuperación de potasio (99%) como una solución de sulfato de potasio, la cual puede ser utilizada nuevamente como fertilizante líquido. La vinaza decationizada podría utilizarse como fertilizante orgánico en mayor proporción en los cultivos de caña de azúcar.

Palabras clave: Decationización; fertilizante; intercambio iónico; potasio; separación; vinaza.

ABSTRACT

In the production of sugar from sugarcane, a byproduct called molasses is generated, which is used in the production of fuel alcohol this

in turn generates a new residue called vinasse. On average, 10 to 15 liters of vinasse are generated by liter of alcohol produced. Vinasse has a high content of organic matter and micronutrients, which pollute the environment because of an inadequate handling. Within these minerals is potassium between 10 and 18 mg/ml, approximately, which limits the use of vinasse as a fertilizer due to the contamination of water sources and soil with this metal and restricting its use as component in the formulations of animal food. In consequence, this paper presents the results of the reduction of potassium in distillation vinasses

from a sugarmill from the region by a strong cation exchange resin and then, a sulphuric acid solution (4 %) was used as eluent for regenerate the exchange resin. A reduction between 97 – 98 % was obtained from the initial content of potassium in the vinasse and potassium recovery was 99 % as a potassium sulphate solution, which can be used again as liquid fertilizer. Decationized vinasse could be used as organic fertilizer in higher proportion in the sugarcane crops.

Key words: Decationization, fertilizer, ion exchange, potassium, vinasse.

Resumen gráfico



INTRODUCCIÓN

Las vinazas son el residuo líquido generado por las industrias licoreras durante el proceso de destilación del mosto fermentado para la obtención de alcohol, como el brandy, el ron, la cañaza y el bioetanol (Cerón, 2013). Este residuo o subproducto, se caracteriza por ser un líquido con un gran contenido de sólidos suspendidos, de color marrón o café oscuro, sabor a malta y olor a miel. En promedio se generan de 10 a 15

litros de vinaza por cada litro de alcohol producido, dependiendo de los equipos disponibles en la destilería. Su alto potencial contaminante es de aproximadamente 100 veces mayor que la de las aguas residuales domésticas, principalmente debido a su pH tan bajo (pH: 3.5–5). Además, de altas concentraciones de potasio y sulfatos (García, 2006).

La vinaza está compuesta por materiales orgánicos y nutrientes minerales que hacen parte de compuestos y constituyentes vegetales como aminoácidos, proteínas, lípidos, ácidos diversos, enzimas, bases, ácidos nucleicos, clorofila, lignina, quinonas, ceras, azúcares entre otras. Un elemento abundante en su composición es el potasio; su origen en la vinaza proviene directamente de la planta de caña de azúcar cuando se produce bioetanol a partir de esta materia prima (Lezcano, 2010).

Debido a su riqueza en minerales algunos ensayos como enmiendas al suelo y fertilizantes en el cultivo de la caña de azúcar han sido realizados en diferentes países como Cuba, Colombia y Brasil; a pesar de obtenerse mejoras en sus rendimientos su utilización ha estado limitada al tipo de suelo, bajo pH (Aristizabal, 2015). El bajo contenido de sólidos totales (entre 8 y 10%) también reduce su utilización cuando se trata de transportarlo. Se encuentran ensayos con resultados promisorios como la digestión anaerobia en plantas para producir biogás y que puede utilizarse como fuente de energía en calderas, con un ahorro significativo del combustible convencional. El lodo residual puede emplearse como alimento animal o como biofertilizante (Zhang, 2012). La vinaza puede mezclarse con otros elementos para elaborar concentrados para animales aportando un contenido de proteína cercano al 5.68%, sales minerales y energía, sustituyendo parte de la melaza usada en la suplementación de ganado bovino, porcino y conejos, sin embargo, en bovinos dosis de potasio superiores a 1,5 Kg/animal causan efectos laxantes, razón por la cual es restringida su utilización (Gómez, 2000). La vinaza posee un gran valor

como fertilizante, su alto contenido de materia orgánica y de micronutrientes, permite que se reutilice en fertirrigación en los cultivos de caña de azúcar. Sin embargo, cuando se utiliza en grandes cantidades, la vinaza está relacionada con la salinización del suelo y la contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Es por esta razón, que la presente investigación tiene como propósito disminuir el nivel de potasio en vinaza proveniente de destilería por medio de una resina de intercambio iónico; para que de esta manera se pueda aprovechar en mayor cantidad como fertilizante o en alimentación animal (Marulanda, 2004).

Las resinas de intercambio iónico están constituidas por una matriz polimérica de elevado peso molecular, son insolubles, contienen grupos funcionales (positivos o negativos) capaces de intercambiar iones con una solución, estos grupos funcionales de las resinas intercambian en el caso más sencillo iones H^+ y OH^- , presentes en la solución según sea el tipo de intercambiadores (Quintero, 2004).

Las resinas de intercambio iónico se pueden clasificar como:

- Resinas catiónicas de ácido fuerte: eliminan los cationes intercambiando sodios o protones.
- Resinas catiónicas de ácido débil: eliminan los cationes asociados con bicarbonatos.
- Resinas aniónicas de base fuerte: eliminan todos los aniones. Se utilizan para eliminar carbonatos y silicatos.
- Resinas aniónicas de base débil: eliminan con gran eficiencia los aniones de ácidos fuertes (sulfatos, nitratos y cloruros).

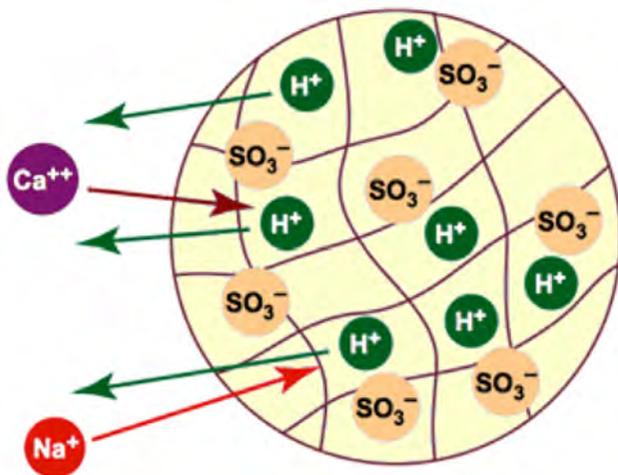


Figura 1. Decationización (todos los cationes reemplazados por H^+).

Fuente: Dardel, 2017.

Las resinas catiónicas fuertes son capaces de eliminar todos los cationes de una solución. Presentan máxima selectividad para los cationes trivalentes, intermedia para los bivalentes e inferior para los monovalentes. La velocidad de intercambio es rápida y con poca fuga iónica. Son resinas muy estables y pueden durar hasta 20 años o más. Se hinchan poco, menos del 8%, al pasar de la forma Na^+ a la H^+ . Las resinas catiónicas soportan temperaturas altas de más 100 °C. Una resina de intercambio iónico, cuando se le ha agotado la capacidad de intercambiar iones, mediante una solución regenerante, pueden recuperar completamente su capacidad de intercambio original. La regeneración de la columna se consigue haciendo pasar a través de la resina una solución con el ion original, el cual se une a los radicales de la resina y desplaza a los iones captados durante el funcionamiento normal (Perry, 2001).

MATERIALES Y REACTIVOS

- Resina de intercambio catiónica ZGC108 (Hangzhou Zheng Guang Co., Ltd, China) la cual cuenta con un grupo sulfónico ($-\text{SO}_3\text{H}$) en el copolímero de estireno-divinilbenceno y se encuentra en forma

sódica Na^+ , presenta buena capacidad de intercambio (>1000 mmol/L), estabilidad física y trabaja en un rango de pH de 1-14.

- Columnas de vidrio de 35 cm de longitud y 1 cm de diámetro con filtro, por las cuales se colocó en contacto la resina y la vinaza para llevar a cabo el intercambio.

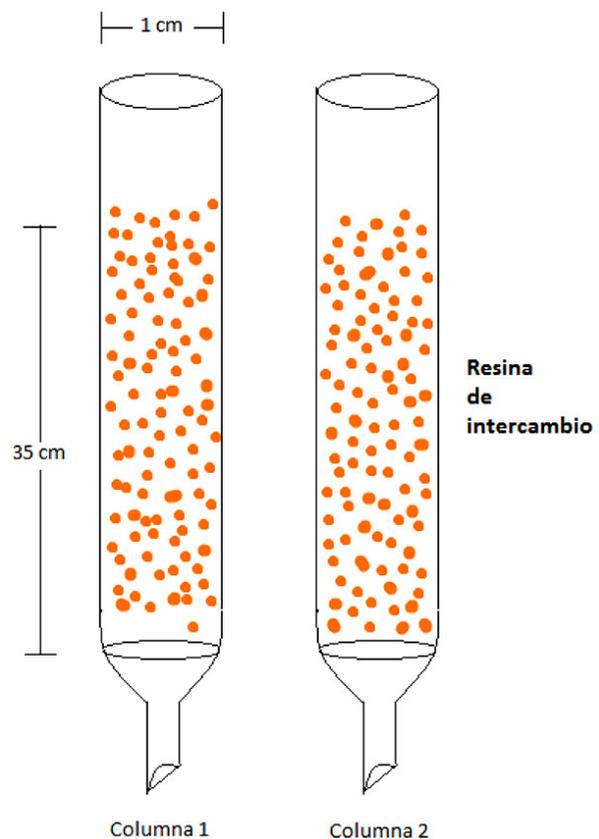


Figura 2. Diseño de columnas utilizadas para el intercambio. Fuente: Autores.

- Bomba peristáltica, utilizada para manejar el flujo requerido en el intercambio y la regeneración de la resina.
- Equipo de absorción atómica: SHIMADZU AA-7000. No. de serie A306647 para realizar la determinación de potasio y otros cationes
- Ácido Sulfúrico y NaOH grado reactivo marca Sigma.

- Baño termostático para mantener la temperatura constante.

METODOLOGÍA

La muestra de vinaza para llevar a cabo el desarrollo de la presente investigación es obtenida directamente de la sección de destilería de un ingenio azucarero de la región. Presenta un color marrón con una gran cantidad de sólidos suspendidos y decantados, es completamente líquida y tiene un olor fuerte a miel.

Caracterización de vinaza

La composición de la vinaza depende de las características de la materia prima utilizada en la producción de alcohol, ya sea de melaza, de los jugos de caña, de los nutrientes utilizados en la fermentación, de la eficiencia del proceso y de la maduración de la caña (Betancourt, 2012).

El desarrollo experimental de esta investigación se realizó con muestras obtenidas directamente de una destilería de la región. Las muestras se mantuvieron bajo refrigeración a 4°C y se realizó la determinación de algunas propiedades importantes para su caracterización, como densidad, grados brix, acidez, pH, sólidos totales y concentración de potasio y los resultados se presentan en la Tabla 1 (Leal, 2003).

La determinación de pH se realizó potenciométricamente de acuerdo con Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23 RD Edition No. 4500. Para los sólidos totales se utilizó la técnica de gravimetría con secado hasta peso constante y se determinó el contenido de humedad mediante el método APHA 2540 B; la densidad se calculó utilizando un picnómetro; la acidez se estimó por titulación utilizando NaOH como agente para neutralización. La cuantificación de potasio, magnesio, hierro, zinc, cobre, calcio y sodio se realizó por espectrometría de absorción atómica con llama con un espectrofotómetro SHIMADZU A.A.

7000. Para la determinación de calcio por este método se utilizó una lámpara de cátodo hueco para calcio y la mezcla de gases óxido nitroso-acetileno alcanzándose temperatura aproximada entre 2900 y 3000 °C. Para los demás metales también se utilizó lámpara de cátodo hueco dependiendo del metal y para todos los casos una mezcla de gas acetileno-aire.

Pretratamiento de la resina

La resina ZGC108 se encontraba en forma sódica y se cambió a forma ácida (recomendación del fabricante) para que esta pudiera retener los iones de potasio disueltos en la vinaza. Se le adicionó a la resina una cantidad de agua destilada equivalente a tres veces su volumen, dejándola en reposo por 24 horas, posteriormente se filtró y se trató con una solución de NaOH 0,1 M. Finalmente, se trató con una solución de HCl 0,1 M esperando entre cada adición 6 horas, para así hacer la respectiva medición de pH; obteniendo un valor de aproximadamente 6,5. Se continuó con los siguientes ensayos con la resina empacada en la columna.

Reducción del contenido de potasio en vinaza utilizando resina de intercambio iónico

Para llevar a cabo la reducción se utilizaron dos columnas de vidrio de 35 cm de longitud y 1 cm de diámetro cada una, en las cuales se realizó la interacción entre la vinaza y la resina. En cada columna se colocaron 220 gramos para garantizar la eliminación de cationes, específicamente de potasio.

La resina en evaluación tiene una capacidad de intercambio de 2000 equivalentes/L y la vinaza que se utilizó tenía un contenido de 671,2 equivalentes/L por lo cual se tomaron 120 mL de vinaza y se pasaron por las dos columnas con un flujo de 2 mL/ min durante dos horas, tomando muestras cada 30 minutos.

En esta parte del proceso se realizaron dos ensayos, uno con vinaza a temperatura de 28 °C y otro con vinaza a 40°C. Los mejores resultados se obtuvieron con la vinaza a

temperatura de 40 °C, por tal razón los ensayos dos y tres se trabajaron a esta temperatura, además, fue posible reducir el tiempo de intercambio a una hora.

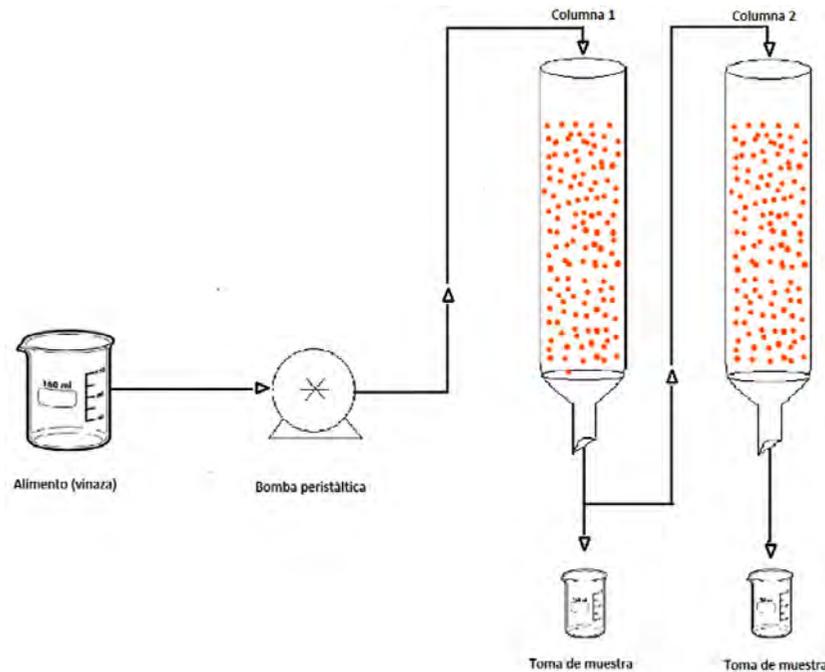


Figura 3. Proceso de intercambio utilizado en laboratorio.

Fuente: propia.

Regeneración de la resina de intercambio

Se realizó la regeneración de la resina saturada anteriormente con los cationes con el propósito de liberar el potasio y cargarla nuevamente con H^+ .

Se utilizó ácido sulfúrico (recomendación del fabricante) como agente regenerante a diferentes concentraciones (0,2M, 0,3M, 0,4M, 0,5M y 0,6M) para encontrar la concentración adecuada para el proceso de regeneración. Se tomó 5 veces el volumen del ácido con respecto al volumen de resina. Para el primer ensayo se colocaron ambos (resina y ácido) en un beaker con agitación constante a 35 °C y se tomaron muestras cada 20 minutos durante 3 horas, finalmente se analizó

el contenido de potasio por espectroscopia de absorción atómica. Para los ensayos dos y tres la regeneración de la resina se llevó a cabo en las columnas, manejando un flujo de 2 mL/min, bajo las mismas condiciones de temperatura, y se redujo el tiempo de contacto entre el regenerante y la resina a 100 minutos (Dardel, 2016).

Obtención de cristales de sulfato de potasio

Las muestras obtenidas después de la regeneración de la resina fueron sometidas a un proceso de cristalización con el propósito de recuperar el potasio como sulfato de potasio en solución. En la figura 4 se explica el procedimiento utilizado.



Figura 4. Procedimiento obtención de cristales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización vinaza

La vinaza proveniente de la destilería fue caracterizada, en la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos, los cationes se analizaron por absorción atómica. Se puede observar que el contenido de potasio es de 9,32 mg/ml siendo este el metal de mayor concentración presente en la vinaza y se verifica que la vinaza es ácida con un pH de 4,3.

Tabla 1. Resultados caracterización vinaza.

PRUEBA	Resultado
GRADOS BRIX	14,03
DENSIDAD (g/mL)	1,09
POTASIO (mg/mL)	9,32
MAGNESIO (mg/mL)	2,22
HIERRO (mg/mL)	0,83
ZINC (mg/mL)	0,07
COBRE (mg/mL)	0,03
CALCIO (mg/mL)	2,42
SODIO (mg/mL)	1,27
SÓLIDOS TOTALES (g/mL)	1,00
pH	4,30

Reducción del contenido de potasio en vinaza utilizando resina de intercambio iónico

Las resinas de intercambio tienen preferencia por ciertos iones que poseen unas características de carga similares. La carga y el tamaño de los iones juegan un papel muy importante y tienen influencia sobre la selectividad, debido a que una resina prefiere contraiones de elevada valencia. El orden de selectividad para los metales alcalinos es:

$Cs^+ > Rb^+ > K^+ > Na^+ > Li^+$ y para los alcalinotérreos: $Ba^{2+} > Sr^{2+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > Be^{2+}$.

Inicialmente se llevaron a cabo dos ensayos por triplicado con el objetivo de observar la temperatura adecuada en el proceso de intercambio. Se evaluaron temperaturas de 28°C y 40°C. Ambos ensayos se realizaron bajo las mismas condiciones de tiempo y flujo, sin embargo, como se puede observar los datos promedio en la Tabla 2, se obtuvieron mejores resultados con temperatura de 40°C, logrando una remoción de potasio del 0,52 % más con respecto a la temperatura de 28°C.

Para los ensayos 3 y 4 de la Tabla 2, se utilizó temperatura de 40°C y se redujo el tiempo de

intercambio a 1 hora, con el mismo flujo y utilizando una sola columna para cada ensayo, se obtuvieron porcentajes de remoción por encima del 97,28 % en promedio.

Estos resultados demuestran que la capacidad de intercambio de la resina depende de la temperatura, del tiempo y del flujo, este último es de gran importancia ya que se debe

determinar la cantidad de vinaza que se debe pasar por unidad de tiempo para que la resina se sature e intercambie la mayor cantidad de potasio posible, permitiendo que la vinaza reduzca su contenido y aumente sus usos industriales teniendo en cuenta los equivalentes de la resina, que es la capacidad que tiene de retener iones (Becerra, 2014).

Tabla 2. Resultados reducción de potasio en vinaza.

ENSAYO	Temperatura (°C)	
	28	40
CONTENIDO INICIAL DE POTASIO EN VINAZA (mg)	457,92	457,92
CONTENIDO FINAL DE POTASIO EN VINAZA (mg)	14,34	12
TOTAL REMOCIÓN DE POTASIO (mg)	443,58	445,92
% DE REMOCIÓN DE POTASIO	97,77%	98,03%

Temp 40°C	Ensayo 2	Ensayo 3
	CONTENIDO INICIAL DE POTASIO EN VINAZA (mg)	918,75
CONTENIDO FINAL DE POTASIO EN VINAZA (mg)	18,55	23,21
TOTAL REMOCIÓN DE POTASIO (mg)	900,19	895,53
% DE REMOCIÓN DE POTASIO	0,9708	0,9747

Regeneración de la resina

El objetivo de esta evaluación fue realizar la elución del potasio retenido en los sitios funcionales de la resina y para esto se evaluaron diferentes concentraciones de ácido sulfúrico, con el fin de determinar la adecuada para regenerar la resina.

Se utilizaron concentraciones de 0,2M, 0,3M, 0,4M, 0,5M, y 0,6M por triplicado y los mejores resultados se obtuvieron con los ácidos 0,4 M y 0,6M, logrando remover 82,44% y 82,65 % del potasio contenido en la resina, respectivamente (Tabla 3, valores promedio). Como los resultados de remoción fueron similares se decidió escoger la concentración más baja de

ácido sulfúrico 0,4M.

Se realizaron tres ensayos por triplicado (uno en beaker y dos en columna) utilizando ácido sulfúrico 0.4M como regenerante, se pueden observar los valores promedio en la Tabla 4. Los mejores resultados se obtuvieron en los ensayos dos y tres, y teniendo en cuenta la variación que tuvieron estos con respecto al primer ensayo, se puede concluir que el proceso de regeneración de la resina resulta ser óptimo cuando se lleva a cabo en la columna y manejando flujos constantes, además, cabe resaltar que bajo las últimas condiciones mencionadas fue posible disminuir el tiempo

de contacto entre el ácido y la resina a 100 minutos, obteniendo porcentajes de remoción de potasio mayores al 98 %.

Se utilizó ácido sulfúrico como regenerante debido a que es un ácido fuerte y tiene mayor

capacidad de eliminar el potasio retenido por la resina, esto gracias a que los iones H^+ que contiene son liberados más fácilmente que un ácido débil, es decir, el ácido sulfúrico cede fácilmente sus protones.

Tabla 3. Evaluación de la concentración del ácido regenerante.

	CONCENTRACIÓN ÁCIDO SULFÚRICO (mol/L)				
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,60
TEMPERATURA (°C)	35	35	35	35	35,00
CONTENIDO INICIAL DE POTASIO EN RESINA (mg)	441,24	441,24	441,24	441,24	441,24
CONTENIDO FINAL DE POTASIO EN RESINA (mg)	136,94	233,74	363,79	209,15	364,71
TOTAL REMOCIÓN DE POTASIO (mg)	304,3	207,5	77,45	232,09	76,53
% DE REMOCIÓN DE POTASIO	31,04%	52,97%	82,44%	47,40%	82,65%

Tabla 4. Resultados regeneración resina con ácido 0,4M.

	ENSAYO		
	1	2	3
T (°C)	35	35	35
CONTENIDO INICIAL DE POTASIO EN RESINA (mg)	441,24	900,19	895,53
CONTENIDO FINAL DE POTASIO EN RESINA (mg)	78,85	11,31	4,74
TOTAL REMOCIÓN DE POTASIO (mg)	362,39	888,88	890,79
% DE REMOCIÓN DE POTASIO	82%	99%	99%

En la figura 5 se puede observar la curva de regeneración de la resina en la columna. Durante los primeros 40 minutos se observa un comportamiento exponencial el cual nos indica la recuperación de este catión de potasio que está presente en la resina saturada en el eluyente, después de este tiempo

empieza una fase de reducción del contenido de potasio lo cual indica que el contenido de este metal en la resina está decayendo. Esto nos indica que la remoción se está realizando de manera adecuada bajo las condiciones de operación y se está liberando potasio como sulfato de potasio.



Figura 5. Regeneración: Disminución de potasio en resina con respecto al tiempo para el ensayo 1.

En la figura 6, los resultados son similares al primero, se observa que el punto más alto es en el minuto 40 donde se presenta la mayor liberación de potasio. En esta evaluación, el porcentaje de liberación de potasio tuvo un valor más alto que el primero eliminando 82,13% del contenido de potasio adherido en la resina. Se realizó una segunda determinación en

donde se obtuvo un porcentaje de 98,74% de liberación de potasio contenido en la resina, se realizó un tercer ensayo para verificar la regeneración de la columna y se obtuvo un valor del 99,47%. Esto indica que la resina está regenerada y sin la presencia de cationes por lo tanto se puede volver a utilizar en el proceso de intercambio catiónico.



Figura 6. Disminución de potasio en resina con respecto al tiempo para el ensayo 2.

Obtención de cristales de sulfato de potasio

El proceso de obtención de cristales de sulfato de potasio se llevó a cabo a nivel de laboratorio utilizando tres eluentes obtenidos del proceso de regeneración. Primero se realizó una evaporación, posteriormente se procedió a una cristalización para lo cual se utilizó un balón con desprendimiento lateral conectado a una bomba de vacío, agitación en malla de calentamiento con temperatura de 70°C. Luego se realizó un enfriamiento en un baño termostático hasta bajar la temperatura a 20°C (Zhang, 2012)

Teniendo el K_2SO_4 en la solución, se procede a la recuperación de este en forma de cristales, el procedimiento se realiza en los tres ensayos, obteniendo sus respectivos porcentajes de rendimiento.

Tabla 5. Resultados de obtención de cristales.

	ENSAYO		
PESO CRISTALES (mg)	0,003	0,0027	0,0033
% RENDIMIENTO	37	32	40

Fuente: Autores

En los resultados, el porcentaje de rendimiento es bajo, debido a que no se recupera todo en forma de cristal, quedando en la solución parte del sulfato de potasio como licor madre.

Los cristales obtenidos tienen uso comercial para la zona agroindustrial en forma de abono para la tierra. En nuestro estudio este cristal es almacenado para estudios posteriores.

CONCLUSIONES

Se logró un alto porcentaje de reducción en el nivel de potasio de la vinaza, el cual fue el objetivo principal de esta investigación, utilizando

la resina ZGC108 en una relación de 0,36 Kg de resina /L de vinaza. La cual presenta ventajas como el amplio rango de pH y las altas temperaturas que puede soportar durante el proceso de operación, demostrando que es efectiva para la reducción de iones de potasio de las vinazas de destilería removiendo el 98% del potasio alimentado al proceso.

El ácido sulfúrico presentó buenos resultados en la regeneración de la resina saturada, debido a que es un ácido fuerte y por lo tanto libera más fácilmente los iones H^+ lo cual permite que el ion sulfato pueda interactuar con el potasio presente en la resina liberando sulfato de potasio durante el proceso de regeneración.

Se recomienda optimizar el proceso de cristalización de sulfato de potasio; en caso de requerirse sólido para su utilización como fertilizante.

LITERATURA CITADA

- Aristizábal, C. (2015) Caracterización fisicoquímica de una vinaza resultante de la producción de alcohol de una industria licorera, a partir del aprovechamiento de la caña de azúcar. Ing. USBMed, 6 (2).
- Becerra, N. (2014). Clarificación de vinazas de caña de azúcar por tratamiento fisicoquímico y filtración con membranas (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Betancourt, C; Quiñonez, W. (2012). Biodegradación anaeróbica de vinaza generada en la destilería de Soderal y aprovechamiento energético del biogás como medio para bajar el impacto de gases de efecto invernadero (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
- Cerón, V. (2013). Caracterización Ambiental De Las vinazas de residuos De caña de azúcar Resultantes De La Producción De Etanol. Dyna, 177.
- Dardel, F. (201-2018). El intercambio iónico. Lugar de publicación: http://dardel.info/IX/index_ES.html
- García, A.; Marulanda, E. y Puerto, O. (2004). Experiencias en el uso de vinazas en la agricultura vallecaucana CD Memorias Seminario. Vinazas,

potasio y elementos menores para una agricultura sostenible. Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo.

Gomez E. (2000). Manual de los derivados de la industria azucarera. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar.

Leal, I. (2003). Caracterización fisicoquímica de la vinaza del Agave cocui y su posible uso agroindustrial. Multiciencias. Universidad de Zulia, 3(2).

Lezcano, P.; Mora, L. (2010). Las vinazas de destilería de alcohol. Contaminación ambiental o tratamiento para evitarlo. Instituto de Ciencia Animal, apdo.24. San José de las Lajas, La Habana.

Rojas, C. (2006). Posibilidades de uso de la vinaza en la agricultura de acuerdo con su modo de acción en los suelos. Técnicaña.

Quintero, R. (2004). Perspectivas acerca del uso y manejo de vinazas aplicadas al suelo. CD Memorias seminario "Vinaza, Potasio y elementos menores para la agricultura sostenible. Sociedad Colombiana de las Ciencias del Suelo. Palmira.

Peerry, R. (2001). Manual del Ingeniero Químico. Mc Graw-Hill , 3. 7ª edición.

Zhang, P. (2012). Using strong acid-cation exchange resin to reduce potassium level in molasses vinasses. Desalination 286 (1).

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

ESTRATEGIAS INTERNACIONALES DE CONSERVACIÓN IMPLEMENTADAS EN EL SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS EN COLOMBIA

INTERNATIONAL CONSERVATION STRATEGIES IMPLEMENTED IN THE NATIONAL SYSTEM OF PROTECTED AREAS IN COLOMBIA

Paulina Alejandra Vergara Buitrago

*Ingeniera Ambiental, Especialista en Gestión Ambiental, Ms(c) Geografía
Universidad pedagógica y Tecnológica de Colombia - Grupo Sistemática Biológica (SisBio)*

paulina.vergara@uptc.edu.co

Resumen

Colombia cuenta con 1044 áreas naturales protegidas, las cuales constituyen la principal herramienta para la conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos. Razón por la cual, la ejecución de estrategias complementarias para la conservación de la diversidad biológica en las áreas naturales, constituye un mecanismo para garantizar la funcionalidad de los ecosistemas colombianos. En el presente artículo se hizo una revisión en torno al establecimiento de las estrategias internacionales denominadas como sitios RAMSAR, Áreas importantes para la Conservación de Aves, Reservas para Aves Playeras, Reservas de la Biósfera y sitios de Patrimonio Natural que han sido reconocidos al interior de las áreas naturales protegidas de Colombia, esto con el propósito de identificar y aportar información sobre el estado actual de implementación de estas estrategias

de conservación en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colombia.

Palabras clave: conservación ambiental; desarrollo; ecosistema; gestión; recursos naturales.

Abstract

Colombia has 1044 protected natural areas, which are the main tool for the conservation of biodiversity and its ecosystem services. Therefore, the implementation of complementary strategies for the conservation of biological diversity in natural areas is a mechanism to guarantee the functionality of Colombian ecosystems. In the present article, a review was made about the establishment of international strategies known as RAMSAR sites, important areas for Bird Conservation, Shorebird Reserves, Biosphere Reserves and Natural Heritage Sites that have been

recognized as interior of the protected natural areas of Colombia, this with the purpose of identifying and providing information on the current state of implementation of these conservation strategies in the National System of

Protected Areas of Colombia.

Keywords: development; ecosystem; environmental protection; management; natural resources.

Resumen gráfico



Introducción

Colombia es considerada como uno de los países megadiversos del mundo (Andrade, 2011; Arbeláez, 2013; Mongabay, 2016), condición que se ve reflejada en la amplia variedad de ecosistemas presentes en el territorio, desde páramos hasta bosques andinos, selvas húmedas tropicales, bosques secos, humedales, sabanas y zonas áridas (Márquez, 2001; IDEAM *et al.*, 2007, Romero *et al.*, 2008).

La importancia de la biodiversidad, así como la adopción de medidas para su conservación, uso sostenible y distribución de beneficios que se deriven de su utilización, se consignan en la Convención sobre Diversidad Biológica, ratificada por Colombia en la Ley

165 de 1994 (Ministerio de Medio Ambiente, 1996; MADS, 2012).

La estrategia de conservación in-situ del Sistema de Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) incluye la reducción de los procesos y actividades que causan pérdida o deterioro de la biodiversidad y la recuperación de ecosistemas degradados y de especies amenazadas (Hurtado *et al.*, 2013; De la maza *et al.*, 2003).

El reto de la conservación en áreas naturales protegidas consiste en enfocar la gestión a la planificación y manejo de la matriz de paisaje circundante (Borrini *et al.*, 2014), buscando oportunidades y estrategias que contribuyan a

mantener los procesos ecológicos de los ecosistemas como objetos de conservación (Vargas, 2011), incluyendo la conectividad entre los actores, las estructuras socioeconómicas y las instituciones relacionadas (Hansen y DeFries 2007; Chaves y Hurtado 2007).

Así mismo, existen otros convenios y programas internacionales, que aplicados a las áreas naturales protegidas han permitido reforzar su conservación (Rodríguez, 2009; Ávila y Hasmine, 2015), ya que otorgan un reconocimiento internacional, que trasciende fronteras y constituye una poderosa herramienta para elevar su importancia y adquirir mayor prestigio y visibilidad mundial, al conjuntar intereses y voluntades en torno a la conservación de estas áreas y su biodiversidad (Orellana, 2014; López y Vidargas, 2016).

La representatividad de las áreas protegidas de Colombia se ha complementado con estrategias de conservación internacionales con denominaciones como: Sitios Ramsar, Áreas Importantes para la Conservación de Aves, Red Hemisférica de Reservas para Aves Playeras, Reservas de la Biósfera o sitios de Patrimonio de la Humanidad (Decreto 2372, 2010; Conpes 3680, 2010; Hernández, 2011).

Este artículo, por todo lo anterior, describió e identificó el número de estrategias internacionales de conservación (Humedales Ramsar, Áreas importantes para la Conservación de Aves, Reservas para Aves Playeras, Reservas de la Biósfera y sitios de Patrimonio de la Humanidad) articuladas actualmente con el SINAP, esto con el fin de reconocer las áreas naturales que han adoptado estrategias internacionales.

Metodología

Se realizó una revisión de información disponible en Parques Nacionales Naturales de Colombia, la Secretaría de la Convención de

Ramsar, la BirdLife International, la Red Hemisférica de Reservas para Aves Playeras, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura; así como, los estudios de los Institutos de Investigación vinculados al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, el Instituto de Hidrología, Meteorología y la Asociación Calidris.

Del Registro Único Nacional de Áreas Protegidas (RUNAP) se descargaron los shapfiles de las áreas protegidas de Colombia, y del Sistema de Información Ambiental para Colombia (SIAC) los shapfiles de las estrategias internacionales. A partir de la información de las entidades geográficas cartografiadas a escala 1:100.000, se identificó el número de estrategias internacionales en jurisdicción de áreas naturales protegidas; así como, el área total de implementación de estas áreas en el territorio colombiano, esta actividad se desarrolló por medio de un análisis visual en pantalla en el software ArcGis versión 10.5.

Humedales Ramsar

La convención sobre los humedales es un tratado intergubernamental aprobado el 2 de febrero de 1971 en la localidad iraní de Ramsar, situada a orillas del mar Caspio (Schnack, 2001; Valencia, 2004; Romero, 2013), se considera el primer tratado moderno sobre conservación y uso sostenible de los recursos naturales (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2016).

Los humedales son reconocidos a nivel mundial como ecosistemas estratégicos que generan servicios ecosistémicos (Castellanos, 2006), como son la depuración del agua, la exportación de nutrientes, el control de inundaciones, el control de erosión, almacenamiento de agua, la regulación hidrológica, provisión de

hábitat para especies, entre otros (MEA, 2005; Ricaurte, 2014), los cuales impactan de forma directa en el bienestar humano de las poblaciones que viven en estrecha relación con los mismos, pero también de manera indirecta a una escala mundial (De Groot *et al.*, 2006).

Asimismo, se consideran un elemento vital dentro del amplio mosaico de ecosistemas con que cuenta el Colombia y se constituyen por su oferta de servicios ecosistémicos en un renglón importante de la economía nacional, regional y local (Andrade *et al.*, 2002). A través de la Ley 357 del 21 de enero 1997, Colombia incorporó a la legislación nacional este tratado con origen en el derecho público internacional, adhesión que fue ratificada en junio de 1998 (Arango *et al.*, 2008).

La normativa colombiana reconoce la protección de los humedales como un asunto vital para alcanzar los propósitos generales de conservación de la biodiversidad previstos en tratados internacionales (Pastrana y Pacheco, 2010), como es el Convenio Internacional sobre Diversidad Biológica y las obligaciones relacionadas que se derivan de los tratados (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2006).

Colombia ha adoptado una posición de vanguardia a nivel mundial en cuanto a la temática de los humedales, encaminándose no sólo a realizar un simple inventario nacional de estos ecosistemas, sino exigiendo además a las autoridades ambientales el deber de delimitarlos, con el fin de mejorar la gestión de su biodiversidad y de los servicios ecosistémicos de los cuales las sociedades dependen (Garzón y Gutiérrez, 2013).

En la actualidad hay declarados 12 sitios Ramsar en Colombia, con una superficie total de 1.871.802 ha, de los cuales 8 tienen jurisdicción en áreas naturales protegidas (Ver anexo

Tabla 1). Dichos sitios propenden por la conservación y el uso racional de los humedales, mediante el mantenimiento de sus características ecológicas y la implementación de enfoques de desarrollo sostenible (SIAC, 2018). El país con mayor sitios Ramsar es el Reino Unido (174) con una superficie de 1.281.989 ha (Ramsar, 2018).

Áreas importantes para la conservación de aves (AICAs)

El programa AICAs se originó a partir de una serie de estudios inéditos que a principios de los años ochenta realizaron la BirdLife International y la Oficina Internacional para la Investigación de los Humedales, por encargo de la Comisión de la Comunidad Europea y el Consejo de Europa (CCA, 1999).

Lo anterior con el objetivo de identificar, proteger y conseguir una gestión adecuada de una red de espacios prioritarios para la supervivencia de las poblaciones de aves a lo largo y ancho del mundo (Fundación ProAves, 2014). Este programa lo desarrollan en sus respectivos países todos los socios de BirdLife International intentando conseguir una protección legal, una gestión y un seguimiento de estos lugares (Infante *et al.*, 2011).

La postulación de AICAs consiste en la identificación de un sitio que cumpla por lo menos con alguna de las siguientes circunstancias: 1) Mantener un número significativo de una o más especies amenazadas a nivel mundial, 2) Hacer parte de centros geográficos que contengan especies de rango restringido o restringidas a un bioma y 3) Contar excepcionalmente con un gran número de especies migratorias o gregarias (BirdLife, 2018a).

En Colombia las AICAs comenzaron a mediados del 2001 con el objetivo de crear una red

nacional de conservación para las aves (Renjifo *et al.*, 2002). Para lo cual, se han implementado estándares y métodos propuestos por la BirdLife International en políticas sobre conservación de biodiversidad (Franco *et al.*, 2012). Así mismo, se han desarrollado también criterios nacionales tomando en cuenta la Lista Roja de aves nacional (Renjifo *et al.*, 2000).

Con 1.921 especies de aves, Colombia es conocida como el país con la mayor riqueza y diversidad de aves del mundo (Fundación Proaves, 2015). Esta gran diversidad además de ser un privilegio es una gran responsabilidad, pues constituye un patrimonio universal que debe ser manejado para garantizar su preservación a perpetuidad (Katta, 2005).

La conservación de la biodiversidad en términos económicos y éticos, es un objetivo central en los convenios multilaterales de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales alrededor del mundo (Renjifo *et al.*, 2000). De acuerdo a la BirdLife (2018b), en Colombia se han identificado 124 AICAs (Tabla 2, Anexo), las cuales representan 8.095.371 ha, el 7,1 % de la superficie nacional. De las 124 AICAs 88 se encuentran incluidas en áreas naturales del SINAP. El país con más AICAS es Estados Unidos (644) con una superficie de 117.730.000 ha (BirdLife, 2018c).

La Red Hemisférica de Reservas para Aves Playeras (RHRAP)

La RHRAP fue creada en 1986 en respuesta a la alarmante disminución de las poblaciones de varias especies de aves playeras de las Américas, y con el objetivo de identificar y proteger los sitios críticos utilizados por estas aves durante la migración anual (Blanco, 1999).

La RHRAP trabaja junto a gobiernos e instituciones privadas para proteger a millones de aves playeras migratorias y sus hábitats en las

Américas, brindando reconocimiento internacional a los sitios críticos utilizados por estas aves y promoviendo su manejo cooperativo y protección a nivel local (Pulido, 2017).

Las metas y objetivos del programa de la RHRAP se han articulado con el de otras estrategias internacionales como: la Convención Ramsar, la Convención sobre Especies Migratorias, el Convenio sobre la Diversidad Biológica, la Iniciativa de Especies Migratorias del Hemisferio Occidental, el Programa de Áreas Importantes para las Aves de BirdLife International y el programa del Censo de Aves Acuáticas Neotropicales de Wetlands International (Castillo *et al.*, 2011).

Colombia cuenta con un área reconocida en la RHRAP, el delta del Río Iscuandé (DRI), con 4.000 ha se ubica en la costa Pacífica noroccidental de Colombia, departamento de Nariño, en límites con el departamento del Cauca (WHSRN, 2018), sin embargo esta área no está articulada con ninguna área del SINAP. La avifauna de la DRI está compuesta por 53 especies de aves acuáticas y 45 especies de aves terrestres para un total de 98 especies de aves agrupadas en 18 órdenes y 37 familias (Asociación Calidris, 2011).

De los sitios importantes para aves playeras (prioritarios y potenciales), 34 se encuentran identificados en el directorio de AICAs Colombia (Asociación Calidris, 2009). Los litorales Caribe y Pacífico con 1.937 km y 1.536 km de línea costera, respectivamente (Invemar, 2015) acogen el 86 % de aves playeras en Colombia (Asociación Calidris, 2010). El país con más áreas para la protección de aves playeras es Estados Unidos con 49 (WHSRN, 2018).

Reservas de la Biósfera

Las Reservas de la Biósfera (RB) son una iniciativa del programa sobre el Hombre y la

Biósfera de la UNESCO que busca armonizar los conceptos de conservación y desarrollo, a través de la relación equilibrada entre los humanos y la biósfera (García, 2003).

A diferencia de otros tipos de áreas de conservación in situ, las RB corresponden a un concepto creado, discutido y modificado por científicos, con el propósito de crear una alternativa distinta, pero no excluyente, a los parques nacionales y similares (Halffter, 2011).

La puesta en marcha de las RB es un desafío en el que se deben contemplar los contextos jurídicos, institucionales y administrativos del territorio (Gómez, 2011). A diferencia de las áreas protegidas que tienen objetivos más convencionales, las RB implican articular objetivos de gestión, formas de protección e intereses (Bioret, 2001).

Colombia cuenta con 5 RB que presentan 34.381.950 ha (Tabla 3, Anexo). Dichas reservas son protegidas por el Estado y por la Red Mundial de Biósferas, cuya función principal es la conservación de la biodiversidad del planeta y la utilización sostenible del territorio, son laboratorios en donde se estudia la gestión integrada de las tierras, del agua y de la biodiversidad (Araya y Clüsener, 2010).

Patrimonio natural

Según, la UNESCO (1972), el patrimonio natural está constituido por las formaciones físicas, biológicas, geológicas, fisiográficas y las zonas estrictamente delimitadas que constituyen el hábitat de especies animales y vegetales amenazadas, que tengan un (valor universal excepcional) desde el punto de vista estético o científico.

El patrimonio natural de Colombia está representado en 3 Áreas Naturales Protegidas, el Parque Nacional Natural Los Katíos creado

en 1973 y declarado patrimonio en 1994, el Santuario de Fauna y Flora de la Isla Malpelo creado en 1995 y declarado patrimonio en 2006 (PNN, 2018) y el Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete reservado y alindado el 1989 y declarado patrimonio en 2018 (UNESCO, 2018) (Tabla 4), en estas áreas se protege gran parte del tesoro natural de Colombia; que es, al mismo tiempo, riqueza irremplazable para todo el planeta (Saldarriaga *et al.*, 2011).

Tabla 4. Patrimonio Natural de Colombia

Nombre	Fecha designación	Área (ha)
Parque Nacional Natural Los Katíos	1994	72.000
Santuario de Fauna y Flora de la Isla Malpelo	2006	857.500
Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete	2018	4.268.095
	Total	5.197.595

Fuente de consulta: adaptado de: UNESCO (2018).

El Parque Katíos tiene su origen en lo que fue la hacienda Sautatá (que en lengua Kuna quiere decir metal que brilla) y en los asentamientos aledaños como Bijao y Travesía (Duarte *et al.*, 2012). El parque se divide en tres sectores: montañas y colinas, planicies sin inundaciones y pantanos. La zona protegida hace parte del Tapón del Darién, uno de los lugares del mundo con mayor riqueza hídrica (Ministerio de Cultura, 2011).

La importancia del Parque estriba en la posibilidad de conservar importantes refugios de bosque y mantener la continuidad del corredor biológico entre el Centro y Suramérica, es decir, un puente de intercambio de biotas (Díaz *et al.*, 2006). En este Parque es posible comprobar por que Colombia es uno de los países con mayor diversidad biológica, pues alrededor

del 20 % de las especies animales del país se encuentran allí (Puerta *et al.*, 2013).

El Santuario de Malpelo conforma una de las cinco ecorregiones naturales de Colombia, conteniendo un mosaico de ecosistemas terrestres, litorales y submareales únicos que albergan especies terrestres y marinas endémicas (Díaz y Gómez, 2000; PNN, 2015). Malpelo alberga las más importantes formaciones coralinas del Pacífico colombiano la roca viviente de 376 metros de altura, se encuentra escoltada por un conjunto de once peñascos que sobresalen 10 metros sobre la superficie marina (Cano y Díaz, 2002).

Su posición geográfica y constitución geológica hacen de Malpelo un lugar excepcional para la agregación de una gran variedad de fauna marina, incluyendo varias especies pelágicas como tiburones, mantas, tortugas, atunes y delfines (Herrón *et al.*, 2007; García, 2010). Además, constituye junto con las islas Galápagos, de Coco, de Coiba y Gorgona el corredor marino de conservación del Pacífico Oriental Tropical (POT) (Rodríguez y Giraldo, 2011).

El Parque Nacional Natural Serranía del Chiribiquete es una de las áreas más apartadas e inhóspitas del país, pero al mismo tiempo representa una valiosa riqueza natural y cultural. Y quizás uno de esos lugares de la tierra, donde el hombre adquirió mecanismos especiales de convivencia con su entorno, un profundo respeto al culto de los animales selváticos y al equilibrio perfecto entre el hombre y la naturaleza (Castaño, 1999).

Conclusiones

De las 1044 áreas naturales de Colombia, 25 presentan jurisdicción en humedales con categoría Ramsar, 174 están en Áreas Importantes para la Conservación de Aves, 190 se encuentran en Reservas de la Biosfera y 3 se ubican

en áreas de Patrimonio Natural, en las reservas de aves playeras no se presenta áreas. Se recomienda continuar con la implementación de estrategias de conservación internacionales, con el fin de reforzar los procesos de gestión y visibilización de las áreas naturales protegidas de Colombia.

En Colombia hay 1 RHRAP, 4 sitios Ramsar y 88 AICAs, sin articulación al SINAP. Las cuales deben ser reconocidas, con el fin de diseñar una zonificación ambiental que promueva la planificación y desarrollo sostenibles de las áreas.

Las estrategias internacionales de sitios RAMSAR, Áreas importantes para la Conservación de Aves, Reservas para Aves Playeras, Reservas de la Biósfera y sitios de Patrimonio Natural, complementan los objetivos nacionales de conservación en Colombia, enfocados en asegurar la continuidad de los procesos ecológicos y evolutivos naturales que soportan la diversidad biológica de los ecosistemas y el suministro de servicios ecosistémicos esenciales para el bienestar humano y la permanencia del medio natural o de alguno de sus componentes.

Agradecimientos

A la Alianza del Pacífico en su plataforma de movilidad estudiantil y académica, que permitió realizar una estancia investigativa en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Lima, Perú). Al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación COLCIENCIAS, a través de la Beca-pasantía Jóvenes Investigadores e Innovadores por la paz 2017 y a la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Literatura citada

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2006). Política de humedales del distrito capital. Departamento Administrativo del Medio Ambiente–DAMA. Bogotá D.C., Colombia. 14 p.

- Andrade, A., Rivera, M., Caicedo, D., & Camargo, L. (2002). Política Nacional para humedales interiores de Colombia. Estrategias para su conservación y uso racional. Ministerio del Medio Ambiente. Ministerio del Medio Ambiente, Consejo Nacional Ambiental. 6 p.
- Andrade, M. (2011). Estado del conocimiento de la biodiversidad en Colombia y sus amenazas. Consideraciones para fortalecer la interacción ciencia-política. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 35(137), 491-507.
- Arango, M., Lenis, M., & Ramírez, N. (2008). Análisis sobre la aplicabilidad de las herramientas de gestión ambiental para el manejo de los humedales naturales interiores de Colombia. *Gestión y ambiente*, 11(2).
- Araya, P., & Clüsener, M. (2010). *Reservas de la biosfera. Su contribucion a la provision de servicios de los ecosistemas. Experiencias exitosas en Iberoamerica*. Chile: Ed. Valent. 88 p.
- Arbeláez, E. (2013). Describiendo especies: Un panorama de la biodiversidad Colombiana en el ámbito mundial. *Acta Biológica Colombiana*, 18(1), 165 -178.
- Asociación Calidris. (2009). Sitios importantes para la conservación de las aves playeras en Colombia. Recuperado de: <http://calidris.org.co/wp-content/uploads/2009/09/Sitios-Importantes-conservacion-playeras.pdf>
- Asociación Calidris. (2010). Plan de conservación para aves playeras en Colombia. Recuperado de: http://calidris.org.co/wp-content/uploads/2010/10/plan_aves_playeras_colombia.pdf
- Asociación Calidris. (2011). La bocana del Río Iscuandé (Nariño) diagnóstico biológico y socioeconómico. Fondo por Nuestros Mares. Recuperado de: <https://docplayer.es/63053384-La-bocana-del-rio-iscuande-narino-diagnostico-biologico-y-socioeconomico.html>
- Bioret, F. (2001). Biosphere Reserve manager or coordinator?. *Parks*, 11 (1), 26-29.
- BirdLife. (2018a). Data Zone. Recuperado de: <http://datazone.BirdLife.org/country>
- BirdLife. (2018b). BirdLife International. Country profile: Colombia. Recuperado de: <http://www.BirdLife.org/datazone/country/Colombia>
- BirdLife. (2018c). BirdLife International. Country profile: USA. Recuperado de: <http://datazone.birdlife.org/country/usa>
- Blanco, D. (1999). *Los humedales como hábitat de aves acuáticas*. Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe-ORCYT-Montevideo-Uruguay, 219-228.
- Borrini, G., Dudley, N., Jaeger, T., Lassen, B., Broome, N. P., Phillips, A., & Sandwith, T. (2014). Gobernanza de áreas protegidas: de la comprensión a la acción. No. 20 de la Serie Directrices para buenas prácticas en áreas protegidas. Gland, Suiza: UICN. 10 p.
- Cano, A., & Díaz, F. (2002). Parques, áreas, Santuarios y reservas. *Revista la Tadeo*, (67), 177-182.
- Castaño, U. (1999). *Sierras y Serranías de Colombia*. Banco de Occidente Credencial.
- Castellanos, C. (2006). Los ecosistemas de humedales en Colombia. *Revista Luna Azul*. 1-5.
- Castillo, F., Davidson, I., Duncan, C., Hahn, D., Luna, D., Mundkur, T., & Vidal, R. (2011). Plan Estratégico Quinquenal, 2011-2015, de la Red Hemisférica de Reservas para Aves Playeras. Manomet Center for Conservation Sciences, Manomet, Massachusetts, EE.UU. 10 p.
- CCA Comisión para la Cooperación Ambiental. (1999). Áreas Importantes para la Conservación de las Aves de América del Norte. Recuperado de: <http://www3.cec.org/islandora/es/item/1664-north-american-important-bird-areas-directory-150-key-conservation-sites>
- Chaves M., & Hurtado, A. (2007). Propuesta de un programa de investigación y monitoreo sobre prioridades temáticas del Sinap y mecanismos de articulación y cooperación interinstitucional para su implementación. Fondo para la Biodiversidad y las Áreas Protegidas y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Informe final. Bogotá D.C., Colombia. 99 p.
- Conpes 3680. (2010). Lineamientos para la consolidación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales. 38 p.

- Decreto 2372. (2010). Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las categorías de manejo que lo conforman y se dictan otras disposiciones. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia. 10 p.
- De la Maza, J., Cadena, R., & Piguero, C. (2003). *Estado actual de las áreas naturales protegidas de América Latina y el Caribe*. México: PNUMA. 93 p.
- De Groot, R., Stuij, M., Finlayson, M., & Davidson, N. (2006). *Valuing wetlands: guidance for valuing the benefits derived from wetland ecosystem services*. Gland, Switzerland: International Water Management Institute. Recuperado de: <https://www.ramsar.org/document/ramsar-technical-report-3-valuing-wetlands-guidance-for-valuing-the-benefits-derived-from>
- Duarte, S., Delgado, J., Gaviria, D., Gómez, L., & Mejía, N. (2012). Atlas Parque Nacional Natural los Katíos. Parques Nacionales Naturales de Colombia. Santiago de Cali, Colombia: WWF. Recuperado de: http://awsassets.panda.org/downloads/katios_36_para_web_5.pdf
- Díaz, J., & Gómez, D. (2000). Programa nacional de investigación en biodiversidad marina y costera. Santa Marta: INVEMAR-FONADE-MMA. 83 p.
- Díaz, J., Abadía, M., Arcadio, H., Robledo, C., & Tejada, R. (2006). Parque Nacional Natural y sitio de Patrimonio Mundial los Katíos, plan de manejo. Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales. Recuperado de: <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2013/12/PNNLosKatios.pdf>
- Franco, A., Devenish, C., Barrero, M., & Romero, M. (2012). Colombia: Áreas importantes para la conservación de las aves América. Colombia. 135-148. En: Devenish, C., Díaz, D., Clay, R., Davidson, I., & Yépez, I. (2009). Priority sites for biodiversity conservation. Eds. Important Bird Areas Americas. Quito, Ecuador: BirdLife International (BirdLife Conservation Series No. 16).
- Fundación ProAves. (2014). El estado de las aves en Colombia 2014: Prioridades de conservación de avifauna colombiana. Conservación colombiana. 20 p.
- Fundación ProAves. (2015). Aves de Colombia 2015 y estudios durante la filmación de Colombia magia salvaje. *Conservación colombiana*, (23) 1-49.
- Fundación Humedales de Bogotá. (2018). Humedales Ramsar en Colombia. Recuperado de: <http://humedalesbogota.com/2018/01/25/humedales-ramsar-colombia/>
- García, D. (2003). Planificación para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad en las reservas de la biósfera: avances en Colombia. En Memorias del V Congreso Interno, Instituto Alexander von Humboldt, Bogotá D.C., Colombia. 4 p.
- García, C. (2010). Diagnóstico de las áreas marinas y costeras protegidas, y de las áreas de manejo en el Pacífico colombiano. Fundación MarViva, Colombia. Recuperado de: http://marviva.net/sites/default/files/documentos/amp_colombia.pdf
- Garzón, N., & Gutiérrez, J. (2013). Deterioro de humedales en el Magdalena medio: un llamado para su conservación. Fundación Alma, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 145 p.
- Gómez, I. (2011). Reserva de Biósfera el Tuparro: un reto para la conservación de la Orinoquía colombiana. *Ambiente y Desarrollo*, 15(29), 43-64.
- Halffter, G. (2011). Reservas de la Biosfera: problemas y oportunidades en México. *Acta zoológica mexicana*, 27(1), 177-189.
- Hansen, A., & DeFries, R. (2007). Ecological mechanisms linking protected areas to surrounding lands. *Ecological Applications*, 17(4), 974-988.
- Hernández, E. (2011). *Programa de desarrollo de capacidades para el Caribe. Gestión del Patrimonio Natural*. La Habana: Exclusivas Latinoamericanas ELA, S.L.
- Herrón, P., Bessudo, S., & Zambrano, H. (2007). *Código de buenas prácticas para el Santuario de Fauna y Flora Malpelo*. Parques Nacionales de Colombia y Fundación Malpelo.
- Hurtado, A., Santamaría, M. & Matallana, C. (2013). Plan de Investigación y Monitoreo del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP): Avances construidos desde la Mesa de Investigación y Monitoreo entre 2009 y 2012. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Parques Nacionales Naturales de Colombia. Bogotá, D. C., Colombia. 200 p.
- IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, Sinchi & IIAP. (2007). Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon von Neumann, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras

- José Benito Vives De Andrés e Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Bogotá, D. C., Colombia: Imprenta Nacional de Colombia. 69 p.
- Infante, O., Fuente, U., & Atienza, J. (2011). *Las Áreas Importantes para la Conservación de las Aves en España*. SEO/BirdLife, Madrid.
- Invemar. (2015). Informe del Estado de los Ambientes y Recursos Marinos y Costeros en Colombia. Recuperado de: http://www.invemar.org.co/documents/10182/14479/ier_2015_baja.pdf/f225fda1-eb06-44ad-9d60-535909e85cc6
- López, J., & Vidargas, F. (2016). Gestión y manejo del patrimonio mundial en México. Problemática, acciones y retos. Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- MADS Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). Política nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos (PNGIBSE). Recuperado de: http://www.humboldt.org.co/images/pdf/PNGIBSE_español_web.pdf
- MADS Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Lista de reservas de la biosfera. Recuperado de: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/433-plantilla-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistematicos-26>
- Márquez, G. (2001). De la abundancia a la escasez: La transformación de ecosistemas en Colombia. (tesis doctoral). Universidad de los Andes en Mérida, Venezuela.
- MEA Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Wetlands and Water Synthesis*. World Resources Institute, Washington, D.C.
- Ministerio de Medio Ambiente. (1996). Política Nacional de Biodiversidad. Departamento Nacional de Planeación, Instituto Alexander von Humboldt. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Politica-Nacional-de-Biodiversidad/politica_nacional-biodiversidad.pdf
- Ministerio de Cultura. (2011). *Patrimonio de la humanidad en Colombia*. Bogota D.C., Colombia: Nomos Impresores. 19 p.
- Mongabay (2016). The top 10 most biodiverse countries. What are the world's most biodiverse countries?. Recuperado de: <https://news.mongabay.com/2016/05/top-10-biodiverse-countries/>
- Orellana, M. (2014). Tipología de instrumentos de derecho público ambiental internacional. Publicación de las Naciones Unidas, Santiago de Chile. Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/37184-tipologia-instrumentos-derecho-publico-ambiental-internacional>
- Pastrana, E., & Pacheco, Y. (2010). La Convención Ramsar a lo largo del eje local-global: protección de humedales en el Valle del Cauca. *Papel Político*, 15(2), 573-616.
- PNN Parques Nacionales Naturales. (2015). Plan de manejo del Santuario de Fauna y Flora Malpelo. Recuperado de: https://storage.googleapis.com/pnn-web/uploads/2013/12/Plan-de-Manejo-SFF-Malpelo_Adoptado_octubre-9_2015.pdf
- Puerta, C., Hinestroza, P., & Montoya, V. (2013). Cartografía sociocultural de Antioquia. Programa de Investigación Expedición Antioquia. 4 p.
- Pulido, V. (2017). Conservación de las aves migratorias: rutas de migración en las Américas. *Exégesis*, 1(1), 33-43.
- Ramsar. (2018). The List of Wetlands of International Importance. RAMSAR Secretariat: Gland, Switzerland. Recuperado de: <http://biblioteca.cehum.org/bitstream/123456789/352/1/SCR.%20The%20List%20of%20Wetlands%20of%20International%20Importance.pdf>
- Renjifo, L., Franco, A., Álvarez, H., Álvarez, M., Borja, R., Botero, J., ..., & Weber, W. (2000). Estrategia nacional para la conservación de las aves de Colombia. Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá D.C., Colombia. 11 p.
- Renjifo, L., Franco, A., Amaya, J., Kattán, G., & López, B. (2002). *Libro rojo de aves de Colombia*. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Ministerio del Medio Ambiente. Bogota D.C., Colombia. 50 p.
- Ricaurte, L. (2014). Enfoque conceptual y metodológico para la identificación y monitoreo de humedales desde una perspectiva funcional y de servicios ecosistémicos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C., Colombia. 16 p.
- Rodríguez, T. (2009). Convenios Internacionales y Ambiente: Recomendaciones para una mejor aplicación de los convenios en los países de la iniciativa del Corredor del Pacífico Este Trópica. San José de Costa Rica: Fundación Marviva. 32 p.

- Rodríguez, E., & Giraldo, A. (2011). Características oceanográficas en isla Malpelo y su relación con la cuenca oceánica del Pacífico Colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, (40), 19-32.
- Romero M., Cabrera, E., & Ortiz, N. (2008). Informe sobre el estado de la biodiversidad en Colombia 2006-2007. Instituto de Investigación Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C., Colombia. 186 pp.
- Romero, M. (2013). El sistema de áreas naturales protegidas y su rol para la conservación del agua. II Congreso Nacional de Derecho Agrario Provincial. La Plata, Argentina. Recuperado de: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/39557>
- Saldarriaga, L., Arango, D., Aristizábal, S., García, H., & Arango, M. (2011). Cartilla vigías del patrimonio cultural Antioquia. Gobernación de Antioquia. Secretaría de Educación para la Cultura. Dirección de Fomento y Cultura. Medellín: Litoimpresos y servicios S.A. 34 p.
- Schnack, J. (2001). Ecosistemas de Humedales. Aspectos históricos, conceptuales y de manejo. Recuperado de: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/30731/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2016). Introducción a la Convención sobre los Humedales. Gland, Suiza. Recuperado de: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/handbook1_5ed_introductiontoconvention_s_final.pdf
- SIAC Sistema de Información Ambiental de Colombia. (2018). Estrategias complementarias de conservación. Recuperado de: <http://181.225.72.78/Portal-SIAC-web/faces/Dashboard/Biodiversidad2/estrategias/estrategias.xhtml>
- UNESCO. (1972). Convención sobre la protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural. Recuperado de: http://portal.unesco.org/es/ev.php-URL_ID=13055&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html
- UNESCO. (2018). Colombia, Properties inscribed on the World Heritage List. Recuperado de: <http://whc.unesco.org/en/statesparties/co/>
- Valencia, I. (2004). La convención de RAMSAR y las aves acuáticas en el neotrópico. *Ornitología neotropical*, 15, 445-454.
- Vargas, J. (2011). Restauración ecológica: biodiversidad y conservación. *Acta Biológica Colombiana*, 16(2), 221-246.
- WHSRN Western Hemisphere Shorebird Reserve Network. (2018). Delta del Río Iscuandé. Recuperado de: <https://www.whsrn.org/delta-del-río-iscuande>.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

ANÁLISIS DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEES). ESTUDIO DE CASO EN LA CIUDAD DE NEIVA

ANALYSIS OF THE GENERATION OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC DEVICE WASTES. CASE STUDY IN THE NEIVA CITY

Christian Felipe Valderrama Lopez¹

Leidy Johana Diaz²

Jesus Octavio Vargas³

¹ Mg en Higiene y Seguridad Industrial, Universidad Nacional Abierta y a Distancia

² Especialista en Evaluación de proyectos, Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena – CAM

³ Especialista en Evaluación de proyectos, Fundación Universitaria Navarra - UniNavarra

¹ christian.valderrama@unad.edu.co

² admincita@cam.gov.co

³ direccioningenieriaambiental@uninavarra.edu.co

RESUMEN

Los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos - RAEES se han convertido en una nueva fuente de contaminación, al punto que anualmente se están disponiendo en los rellenos sanitarios aproximadamente entre 40 y 50 millones de toneladas en países emergentes. Este tipo de residuos especiales, considerados peligrosos, son un riesgo para el medio ambiente y los seres humanos. Por lo anterior, este artículo presenta el análisis del comportamiento de la generación de residuos peligrosos en el sector industrial, comercial y de servicios en la ciudad de Neiva. Para esto se contó con el apoyo de la autoridad ambiental regional para identificar los generadores de residuos peligrosos de la

ciudad y se diseñó una herramienta de recolección de información.

El procesamiento de esta información permitió identificar el tipo, la cantidad y el manejo y disposición final de este tipo de residuos en la ciudad. Se encontró que en el año 2013 se generaron 133.396 kg/año de RAEES, y solo 25% de los generadores consideran a los RAEES como peligrosos. Este estudio permite sentar las bases para dar un punto de partida a otras investigaciones asociadas con los residuos peligrosos y especiales que permita generar alternativas a mediano plazo relacionadas con la sostenibilidad, la innovación y el emprendimiento a nivel local.

Palabras clave: Investigación descriptiva, gestión ambiental, rellenos sanitarios, residuos peligrosos, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

ABSTRACT

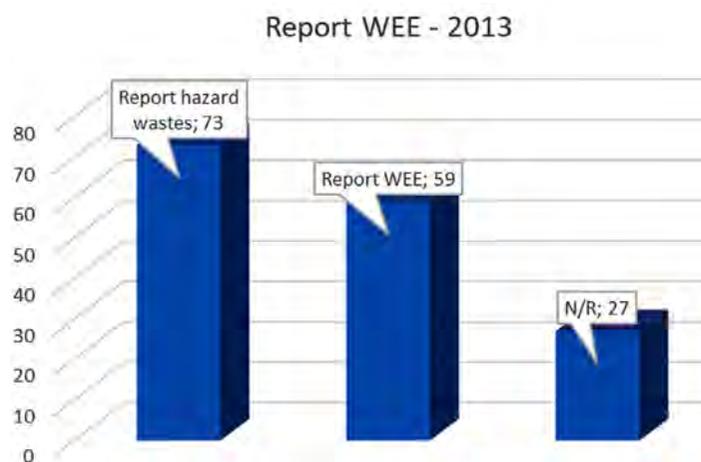
The Waste Electrical and Electronic Equipment - WEEE has become a new source of pollution to the point that approximately 40 to 50 million tons per year are disposed in landfills in developing countries. Those types of hazardous waste are considered of special risk to the environment and humans. Hence, this research analysed the behaviour of generation of hazardous waste in industrial, commercial and service sector in the Neiva city. The regional environmental authority

supported this work to identify the hazardous waste generators in the city and a tool Data collection was designed.

The processing of this information identified the waste types, quantity, handle and final disposition in the city. It found that, in 2013, WEEE was 133,396 kg/yr and just 25% of the companies whose generated it, consider WEEE like a hazardous waste. This study lay the foundation to another researches related to hazard wastes, allowing to create new mid-term opportunities related to sustainability, innovation and entrepreneurship at local level.

Keywords: Descriptive research, environmental management, landfills, hazardous waste, waste electrical and electronic equipment.

CORRELATION WEEE



CORRELATION WEEE



Record hazard wastes in Neiva

Hazard Wastes	Weight report (kg)
Y (21, 22, 26, 29, 31, 41)	94404,8
A (1020, 1030, 1080, 1160, 1180)	53,003
Total (kg)	133,696

Graphical abstract: Waste of electrical and electronic appliances analysis. Study case in Neiva city

INTRODUCCIÓN

El tema de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEEs) se ha convertido en un problema alarmante debido al rápido avance tecnológico que está afectando al mundo por la generación de las grandes cantidades de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEEs), donde se registró un incremento anual del 5% (Duygan & Meylan, 2015) y al año 2012 los RAEEs generados y reportados a nivel global fueron de 48.894 millones de toneladas (Baldé, Wang, & Huisman, 2015). El problema se agrava debido a que el consumo masivo de aparatos electrónicos como son los computadores personales y teléfonos celulares se ha incrementado y el ciclo de vida de estos se ha reducido, aumentando así la velocidad de desecho de estos equipos (Tiago, Geraldo Antônio, & Vania Elisabete, 2017), ocupando un 8% de los residuos municipales en países como Asia e India ((Tsydenova & Bengtsson, 2011; Widmer, Oswald-Krapf, Sinha-Khetriwal, Schnellmann, & Böni, 2005)).

El rápido crecimiento de la población humana y el desarrollo tecnológico que someten al ambiente, está produciendo un declive cada vez más acelerado en la calidad de éste y en su capacidad para sustentar la vida dando lugar a una gran cantidad de desechos, basado principalmente en la producción de aparatos electrónicos y eléctricos mediante el uso de materiales como el plomo, estaño, cadmio, cobre, antimonio, cobalto, oro, mercurio, níquel, zinc, bario y cromo (Morf et al., 2007), los cuales al ser procesados de forma irregular generan una mayor contaminación (Manhart, 2011) y un incremento en el riesgo de la salud ocupacional y ambiental de la población por exposición a compuestos como dioxinas ((Li, Yu, Sheng, Fu, & Peng, 2007; Tsydenova & Bengtsson, 2011)), bifenilos policlorados (BPCs) (Wen et al., 2008), entre otros.

La realidad en Colombia no es ajena a los problemas mencionados, el Centro de Investigación de Mercados reporta que el 7% de estos dispositivos terminan en el relleno sanitario o en manos de un reciclador (MAVDS, 2010). A pesar de existir empresas gestoras encargadas de la recolección de estos residuos, no se están llevando a cabo los lineamientos nacionales para cada una de las siguientes etapas que enmarcan la gestión integral de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEEs) relacionadas con el manejo, recolección, almacenamiento, etiquetado, transporte, reusó, reacondicionamiento, reutilización, reparación, reciclaje, desensamble manual y mecánico, descontaminación, fundición, refinación térmica y química, incineración y disposición final en rellenos sanitarios y rellenos de seguridad.

Por esta razón se desarrolló este estudio con el fin de investigar el comportamiento del manejo y disposición final de los RAEEs en una ciudad intermitente, como Neiva, despertando así un gran interés en los temas de investigación y emprendimiento, con el objetivo de construir una línea base que permita identificar la percepción de esta problemática y las posibles soluciones que ayuden a mitigar o prevenir los impactos que generan las practicas no adecuadas de estos residuos para el sector industrial y de esta manera, generar investigaciones en tecnologías de aprovechamiento y valorización de los mismos ajustadas a las necesidades de esta región.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este proyecto se realizó la recolección de la información por el método de investigación descriptivo (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2003). Como sistema de recolección de información se realizó el diseño, aplicación y análisis de encuestas partiendo de una matriz de análisis de

información del Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos del Instituto de Hidrología y Meteorología de Estudios Ambientales (IDEAM).

Se diseñó una encuesta de escala tipo frecuencia formulada en sentido positivo, constituido por 4 ítems con respuesta, dirigida al personal encargado de adelantar las acciones de manejo, recolección y disposición final con empresas gestoras de RAEES en el municipio de Neiva. Se procedió a identificar mediante el registro de generadores de residuos o desechos peligrosos del IDEAM los usuarios inscritos de la ciudad de Neiva para el año 2013. Para establecer la muestra de estudio se utilizó un muestreo aleatorio simple con una confianza del 95% y un error máximo del 9%. Se procesó la información mediante un análisis

detallado para identificar el tipo y cantidad de residuos generados, además del tipo y aprovechamiento y disposición final. Para la recolección de la información se contó con el apoyo de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena – CAM.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la información suministrada por las encuestas y las bases de datos brindadas por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM, obtenidas del aplicativo del IDEAM, se logró identificar los tipos y cantidades de residuos peligrosos de acuerdo con sus características y corriente de peligrosidad como se observa en la Tabla 1. Para la vigencia del año 2013, se encontraron 298 empresas que reportaban la generación de RAEES llegando a un total de 133.696 kg.

Tabla 1. Información residuos peligrosos por corriente, municipio de Neiva.

Corriente de residuo o desecho peligroso	Solido/Semisólido (kg)
Y21 - Desechos que tengan como constituyentes: compuestos de cromo hexavalente.	875
Y22 - Desechos que tengan como constituyentes: compuestos de cobre.	3.182
Y23 - Desechos que tengan como constituyentes: compuestos de zinc.	592
Y26 - Desechos que tengan como constituyentes: cadmio, compuestos de cadmio.	1
Y29 - Desechos que tengan como constituyentes: mercurio, compuestos de mercurio.	1.599
Y31 - Desechos que tengan como constituyentes: plomo, compuestos de plomo.	79.929
Y41 - Desechos que tengan como constituyentes: solventes orgánicos halogenados.	7.372
A1020 - Desechos que tengan como constituyentes o contaminantes, excluidos los desechos de metal en forma masiva, cualquiera de las sustancias siguientes: antimonio	1.366
A1030 - Desechos que tengan como constituyentes o contaminantes cualquiera de las sustancias siguientes: arsénico	9
A1080 - Residuos de desechos de zinc no incluidos en la lista B, que contengan plomo y cadmio en concentraciones tales que presenten características del Anexo III.	13
A1160 - Acumuladores de plomo de desecho, entero o triturado.	24.017
A1180 - Montajes eléctricos y electrónicos de desecho o restos de éstos que contengan componentes como acumuladores y otras baterías incluidos en la lista A, interruptores de mercurio, vidrios de tubos de rayos catódicos y otros vidrios activados y capacitadores de PCB, o contaminados con constituyentes del Anexo I (por ejemplo, cadmio, mercurio, plomo, bifenilo policlorado) en tal grado que posean alguna de las características del Anexo III (véase la entrada correspondiente en la lista B B1110) .	14.742
TOTAL (kg)	133.696

Fuente de consulta: (IDEAM, 2013)

Con base en la información obtenida, se tomó una muestra aleatoria simple de 95 empresas para ser encuestadas, generando los resultados arrojados a continuación.

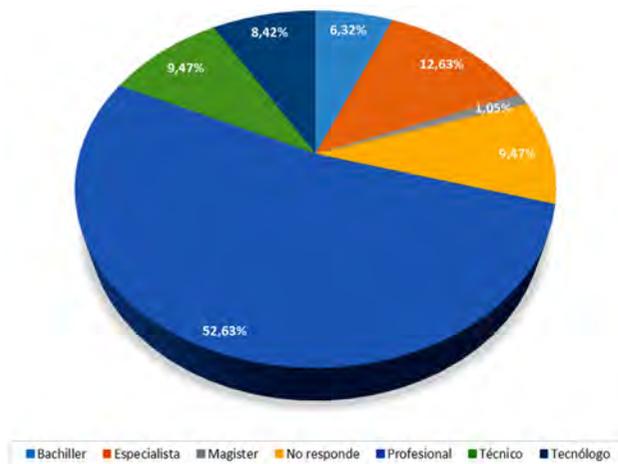


Figura 1. Nivel escolaridad del encuestado

Se encontró en la Figura 1, que el nivel de escolaridad que tienen las personas que diligenciaron las encuestas como encargados del manejo ambiental de las empresas, 52,63% son profesionales, seguido de 12,63% que son especialistas.

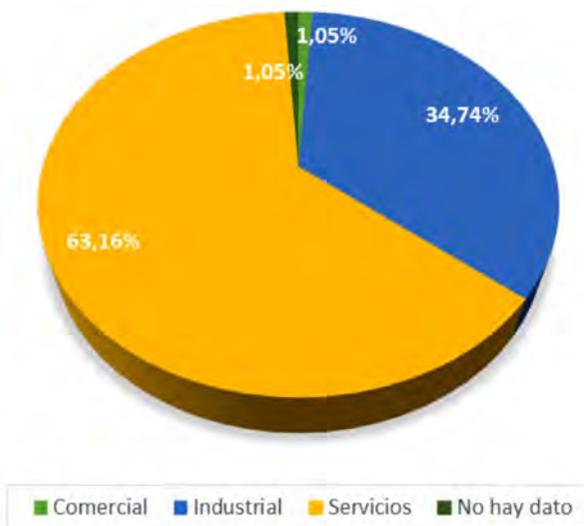


Figura 2. Tipos de sectores generadores de RAEEs

Como se puede observar en la Figura 2, el sector que tiene mayor representatividad es el de servicios con 63,16%, seguido del industrial con 34,74% y por último, se encuentra el sector comercial.

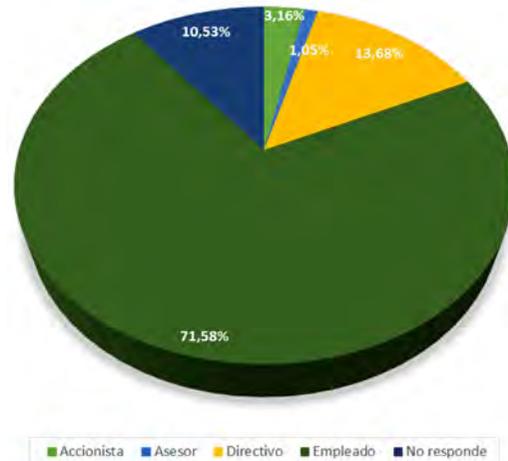


Figura 3. Nivel cargo de encuestados.

En la figura 3, se encontró que 71,58% de los encuestados corresponde a empleados, seguido de 13,68% directivos de empresas, y 10,53% no respondió que cargo ejerce dentro de la empresa.

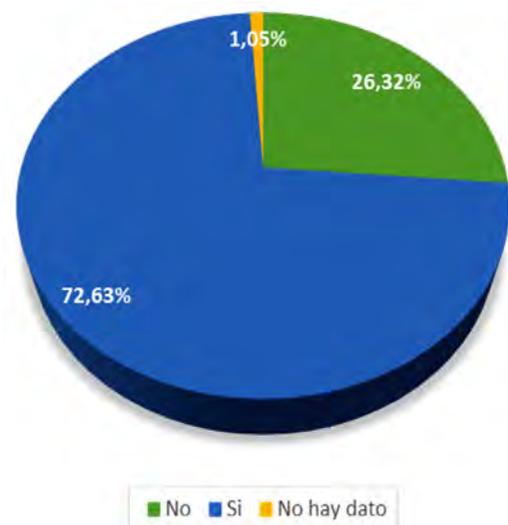
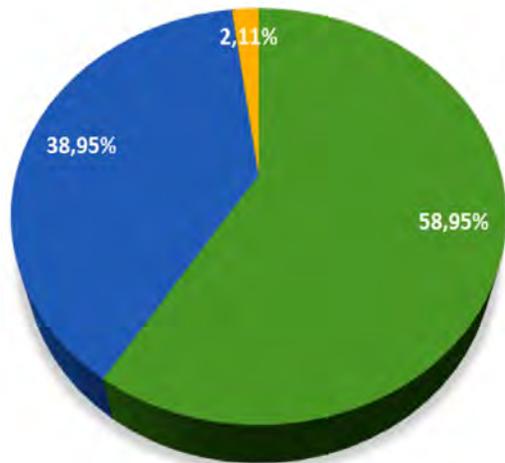


Figura 4. Planes de gestión de residuos peligrosos implementados.

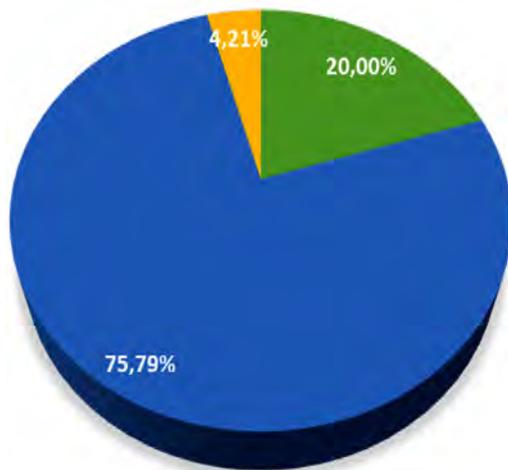
En la figura 4, se puede observar que el 72,63% de las empresas están cumpliendo con la normativa y 26,32% no está cumpliendo con la implementación de un Plan de Gestión de RES-PEL, para el porcentaje restante no hubo respuesta (1,05%).



■ No ■ Sí ■ No hay dato

Figura 5. Recolección y almacenamiento de los RAEES.

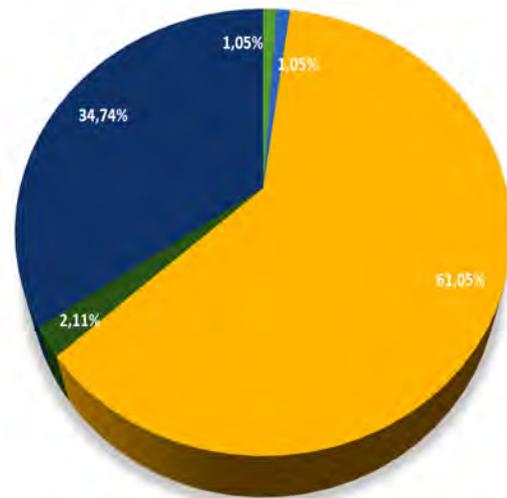
En la figura 5, Se evidencia que hay una población del 58,95% que no está realizando la recolección ni el almacenamiento de los RAEES.



■ Si ■ No ■ No hay dato

Figura 6. ¿Diligencia el formato de generación de RAE?

De acuerdo con la figura 6, solo 20,00% de los encuestados diligencian la información, mientras que el 75,79% de la población objetivo no llevan ningún registro de estos RAEES. Por lo anterior, es preocupante la ausencia de control sobre estos residuos como peligrosos.



■ Gaira Vitare ■ InciHuila ■ No hay dato ■ Serviambiental ■ No define empresa

Figura 7. ¿Con qué empresa realiza la disposición final de los RAE?

En la figura 7, se observa que en el momento de la disposición y/o la entrega de los RAEES, solo 4,21% de los encuestados entregan estos residuos a las empresas gestoras, pero desconocen acerca de la capacidad técnica de las compañías recolectoras y la autorización por parte de la Corporación Autónoma Regional para la recolección y disposición final de estos residuos, como son SERVIAMBIENTAL e INCIHUILA.

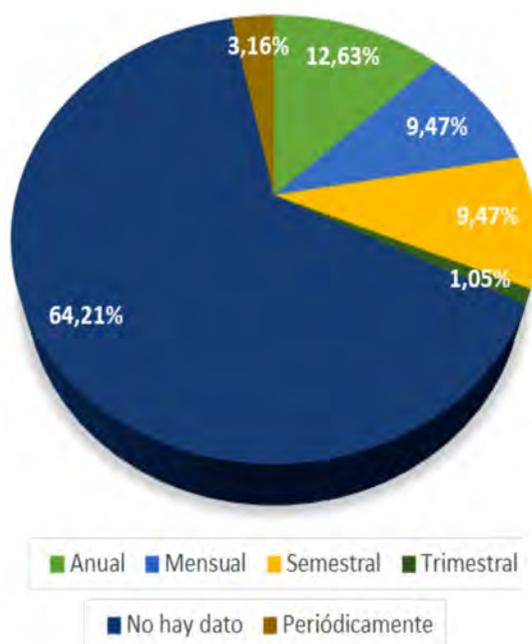


Figura 8. Periodicidad de recolección de los RAEEs.

La figura 8, muestra que 35,78% de la población objetivo realiza la recolección de los RAEEs, pero falta conciencia por parte de las empresas que consideran sin importancia la disposición final adecuada de este tipo de residuos.

DISCUSIÓN

La importancia de analizar la percepción y la clasificación de los diferentes tipos de residuos peligrosos son la clave para una sociedad moderna y sostenible, en donde se logre reducir la demanda de los productos y se fortalezcan los comportamientos de los consumos responsables (Ibanescu, Cailean Gavrilescu, Teodosiu, & Fiore, 2018). Es por ello que esta investigación permitió identificar el nivel de información que manejan los trabajadores en el campo ambiental; sus fortalezas y debilidades que servirán como línea base para generar estrategias y futuras investigaciones articuladas con este sector en la ciudad.

La generación y reporte de 133.696 kg de residuos peligrosos en la ciudad es un buen

indicador para poder identificar los impactos ambientales y sanitarios que pueden tener estas sustancias químicas, es por ello que se deben empezar a plantear estrategias de tratamiento y disposición asociados a los residuos electrónicos como plantas locales que generen rentabilidad económica y ambiental para la ciudad (Zeng et al., 2015), y a la vez se reduzca la obtención de recursos primarios dentro de la ciudad por su auto producción interna (Manhart, 2011).

Por otro lado, se observó una correlación entre la coherencia con el análisis de recolección y almacenamiento de los RAEEs, en donde 75% no consideran a los RAEEs como RESPEL; sin embargo, 39% hace la recolección y almacenamiento, pero solo 23% de los que recolectan tienen un formato de generación de RAEEs en sus empresas, identificando que el flujo de estos residuos se puede estar dirigiendo a los rellenos sanitarios o a los recicladores informales que van a ocasionar un impacto más grave al medio ambiente por la liberación de residuos peligrosos sin medidas de control.

Los resultados evidenciaron la problemática ambiental en recolección, manejo y disposición final de este tipo de residuos, pues no existe ningún tipo de control por parte de ellas, ya que desconocen que este tipo de residuos contiene sustancias peligrosas. Las actividades de aprovechamiento como el reacondicionamiento y desmontaje se están realizando por empresas informales no autorizadas o por aquellas que, pese a que tienen la licencia ambiental para el almacenamiento, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos, dicha autorización no contempla el aprovechamiento, valorización y disposición de RAEEs, perdiéndose oportunidades de generar rentabilidades y trabajar por la disminución del impacto al medio ambiente a través de una correcta disposición (Zeng et al., 2015).

Por último, es de considerar que esta primera etapa permitió identificar la problemática actual en los diferentes actores de la ciudad; sin embargo, se debe considerar realizar un estudio a fondo que incluya a los habitantes a través de una perspectiva de pos consumo o logística inversa como se consideró en la ciudad de Sao Paulo (Angela Cassia, Wanda Maria Risso, & Maria Eugenia Gimenez, 2015) para considerar a todos los actores y diseñar estrategias más aterrizadas a la problemática ambiental y cultural del territorio.

CONCLUSIONES

La generación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos son una problemática que se presenta en la ciudad de Neiva, ya que, pese a la existencia de mecanismos de recolección y control de la información por parte de la autoridad ambiental, prevalece el desconocimiento en el sector industrial que hace que su gestión no sea adecuada.

Se observó que, aunque 73% de las empresas encuestadas tienen y ejecutan un Plan de Gestión Integral de Residuos Peligrosos, 59% de estas no contempla dentro de éste el manejo ni la disposición final adecuada de los RAEES. En conclusión, esta puede ser una de las causas que genera el aumento de los impactos negativos para el medio ambiente y la salud, ya que se manejan como residuos ordinarios y muchos de ellos terminan su ciclo en rellenos sanitarios, vertederos y campos a cielo abierto, convirtiéndose en residuos peligrosos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena por haber facilitado el espacio y la disposición para coordinar con el sector industrial la adquisición de la información.

LITERATURA CITADA

- Angela Cassia, R., Wanda Maria Risso, G., & Maria Eugenia Gimenez, B. (2015). Estimativa da geração de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos de origem domiciliar: proposição de método e aplicação ao município de São Paulo, São Paulo, Brasil / Evaluation of Waste of Electric and Electronic Equipments generation from house. *Engenharia Sanitaria e Ambiental VO - 20*, (3), 437. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000133701>
- Baldé, C. P., Wang, F., & Huisman. (2015). *The Global E-waste Monitor 2014*. (United Nations University, Ed.). Bonn. Retrieved from <http://i.unu.edu/media/ias.unu.edu-en/news/7916/Global-E-waste-Monitor-2014-small.pdf>
- Duygan, M., & Meylan, G. (2015). Strategic management of WEEE in Switzerland—combining material flow analysis with structural analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 103, 98–109. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.06.005>
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2003). *Metodología de la investigación*. (Mc GrawHill, Ed.). Mexico.
- Ibanescu, D., Cailean Gavrilescu, D., Teodosiu, C., & Fiore, S. (2018). Assessment of the waste electrical and electronic equipment management systems profile and sustainability in developed and developing European Union countries. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 73, 39–53. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.12.022>
- IDEAM. (2013). Portal generadores RAEES. Retrieved from <http://kuna.ideam.gov.co/mursmpr/index.php>
- Li, H., Yu, L., Sheng, G., Fu, J., & Peng, P. (2007). Severe PCDD/F and PBDD/F Pollution in Air around an Electronic Waste Dismantling Area in China. *Environmental Science & Technology*, 41(16), 5641–5646. <https://doi.org/10.1021/es0702925>.
- Manhart, A. (2011). International Cooperation for Metal Recycling From Waste Electrical and Electronic Equipment: An Assessment of the “Best-of-Two-Worlds” Approach. *Journal of Industrial Ecology*, 15(1), 13–30. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00307.x>

- MAVDS. (2010). *Lineamientos Técnicos para el Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos*. Bogota. Retrieved from http://www.residuoselectronicos.net/wp-content/uploads/2012/03/Guia_RAEE_MADS_2011-reducida.pdf
- Morf, L. S., Tresp, J., Gloor, R., Schuppisser, F., Stengele, M., & Taverna, R. (2007). Metals, non-metals and PCB in electrical and electronic waste – Actual levels in Switzerland. *Waste Management*, 27(10), 1306–1316. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.06.014>
- Tiago, P., Geraldo Antônio, R., & Vania Elisabete, S. (2017). Avaliação da geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEEs) em uma universidade particular / Evaluation of the electrical and electronic equipment waste (WEEE) generation in a private university. *Engenharia Sanitaria e Ambiental VO - 22*, (4), 625. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017142636>
- Tsydenova, O., & Bengtsson, M. (2011). Chemical hazards associated with treatment of waste electrical and electronic equipment. *Waste Management*, 31(1), 45–58. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2010.08.014>
- Wen, S., Yang, F.-X., Gong, Y., Zhang, X.-L., Hui, Y., Li, J.-G., ... Xu, Y. (2008). Elevated levels of urinary 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine in male electrical and electronic equipment dismantling workers exposed to high concentrations of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans, polybrominated diphenyl ethers, and polychlorinated biphenyls. *Environmental Science & Technology*, 42(11), 4202–7. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18589988>
- Widmer, R., Oswald-Krapf, H., Sinha-Khetriwal, D., Schnellmann, M., & Böni, H. (2005). Global perspectives on e-waste. *Environmental Impact Assessment Review*, 25(5), 436–458. <https://doi.org/10.1016/J.EIAR.2005.04.001>
- Zeng, X., Song, Q., Li, J., Yuan, W., Duan, H., & Liu, L. (2015). Solving e-waste problem using an integrated mobile recycling plant. *Journal of Cleaner Production*, 90, 55–59. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2014.10.026>

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

**Licencia de Creative Commons**

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

REMOCIÓN DE CROMO EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES MEDIANTE EL USO DE BIOMASA DE *SPIRULINA SP*, SEDIMENTACIÓN PRIMARIA Y PRECIPITACIÓN QUÍMICA

REMOVAL OF CHROMIUM IN INDUSTRIAL WASTEWATER USING BIOMASS OF *SPIRULINA SP*, PRIMARY SEDIMENTATION AND CHEMICAL PRECIPITATION

Yeni Maritza Meneses Barroso¹

Paula Andrea Patiño Mantilla²

Jhon Freddy Betancur³

*Est. Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente.
Universidad de Manizales. Manizales, Colombia.*

*Est. Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente.
Universidad de Manizales. Manizales, Colombia.*

PhD Ciencias Agropecuarias, Universidad de Manizales; Grupo de Investigaciones Biomédicas, Centro de Investigación en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible - CIMAD (Manizales, Caldas, Colombia)

¹ yenime27@gmail.com

² paulaandreapatinom@gmail.com

³ jbetancur@umanizales.edu.co

RESUMEN

El cromo es un metal pesado ampliamente usado a nivel industrial y vertido comúnmente de manera directa a fuentes hídricas, lo que conlleva a un deterioro de las mismas. Por lo tanto, esta investigación busca comprobar la remoción de cromo ejercida mediante tratamiento físico, químico y biológico en aguas residuales industriales, con el fin de determinar cuál alternativa resulta más sostenible.

Para ello se implementaron a escala laboratorio ocho reactores con agua residual industrial de una empresa del sector metalmeccánico; inicialmente se evaluó la remoción de cromo mediante sedimentación primaria logrando remociones del 16%; posteriormente, se verificó el efecto llevado a cabo mediante precipitación química con sulfato de aluminio y óxido de calcio; por último, se evaluó la capacidad

de biosorción de la microalga *Spirulina sp.* utilizando biomasa viva y muerta a las 24 y 96 horas. Encontrando que existen mecanismos de fácil implementación para evitar vertimientos directos, además se encontró que el tratamiento químico logra disminuir el cromo a valores inferiores de 0.1 mg/l, con remociones del 99%, sin embargo, genera más del 30% de lodos y no favorece la separación del metal. Con el uso de biomasa se alcanzaron remociones de hasta el 96.5% en las primeras 24 horas y un valor final de cromo de 1.02 mg/l, presentando la ventaja que este método genera menos del 10% de lodos y permite recuperar el cromo para su posterior uso. De modo que, se recomienda la implementación de un tratamiento físico-biológico, puesto que mejora la sostenibilidad del proceso.

Palabras clave: agua residual industrial, biosorción, cromo, microalga, *Spirulina sp.*

ABSTRACT

Chromium is a heavy metal widely used at an industrial level and commonly discharged directly into water sources, which leads to their deterioration. Therefore, this research seeks to verify the removal of chromium exerted by physical, chemical and biological treatment in industrial wastewater, in order to determine which alternative is more sustainable.

With this aim, three reactors with industrial wastewater from a company in the metal-mechanic sector were tested; Chromium removal was initially evaluated by primary sedimentation achieving 16% removals; subsequently, the effect carried out by chemical precipitation with aluminum sulfate and calcium oxide was verified. Finally, the bio-absorption capacity of the microalga *Spirulina sp.* was evaluated using living and dead biomass within 24 and 96 hours. Results show that there are mechanisms with easy implementation to avoid direct dumping. It was also found that the chemical treatment reduces chromium to values lower than 0.1 mg/l, with removals of 99%, however, it generates more than 30% of sludge and does not help to separate the metal. With the use of biomass, removals of up to 96.5% were achieved in the first 24 hours and a final chromium value of 1.02 mg/l, with the advantage that this method generates less than 10% of sludge and allows the recovery of chromium for its later use. Therefore, the implementation of a physical-biological treatment is recommended, since it allows improving the sustainability of the process.

Keywords: industrial wastewater, biosorption, chromium, microalgae, *Spirulina sp.*

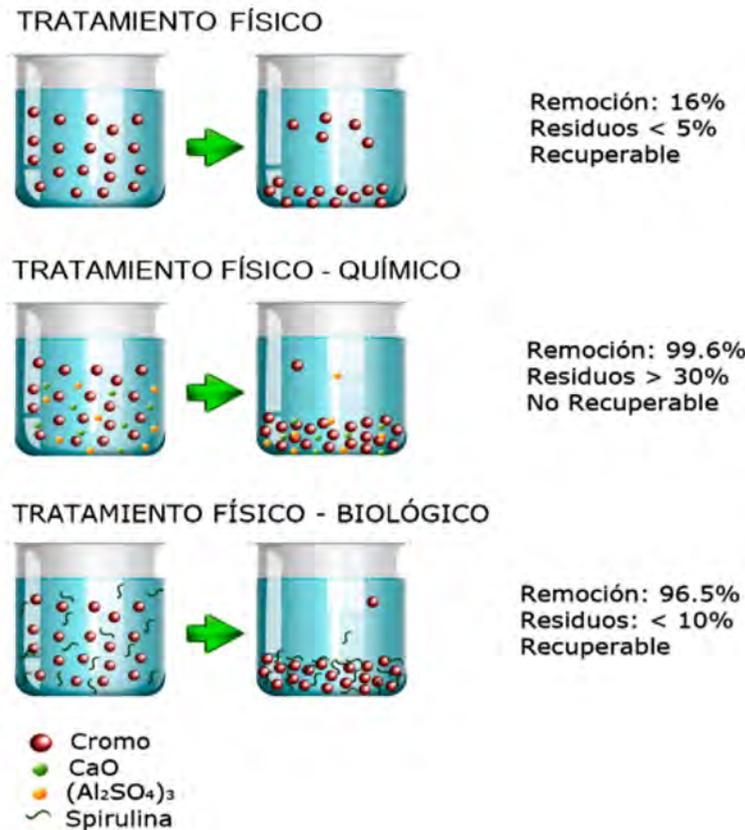


Figura 1: Resultados con los diferentes tipos de tratamiento propuestos. Porcentaje de remoción de cromo, generación de residuos y recuperabilidad del cromo.

INTRODUCCIÓN

A través del tiempo la actividad antrópica se ha encargado de alterar de una forma acelerada el entorno natural. Es así como los seres humanos han afectado la calidad de las fuentes hídricas, no sólo a través de los vertimientos domésticos, sino también desde los diferentes procesos industriales que se desarrollan para soportar la economía. Dentro de ellos está el sector industrial que en muchos casos vierte sus residuos líquidos de manera directa a los cuerpos de agua sin los tratamientos adecuados. Es así como ciertas industrias utilizan a manera de insumo en sus procesos productivos metales pesados como el cromo, el plomo, el mercurio, el cadmio y el zinc entre otros; dichos compuestos son considerados entre

los más peligrosos para la salud humana y el medio natural, por lo que resulta fundamental evitar su vertimiento a las fuentes hídricas.

En depuración de aguas residuales industriales, en general, se realizan diversos procesos para llevar el agua a parámetros admisibles por la normatividad ambiental, sin embargo, la eliminación de los metales pesados resulta compleja y dispendiosa, además presenta el inconveniente que todos los tipos de tratamientos generan a su vez residuos (López, González, & Guzmán, 2016). Estos autores explican que el tratamiento de aguas residuales se divide en cuatro etapas que son: pretratamiento (eliminación de sólidos gruesos

en suspensión, grasas y aceites), tratamiento primario (remoción de una porción de sólidos suspendidos y materia orgánica mediante la gravedad), tratamiento secundario (remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica) y tratamiento terciario (remoción de sustancias residuales no eliminadas por los procesos secundarios entre ellas el cromo (Cr)). El propósito de esta investigación se centra en el cromo debido al potencial mutagénico, genotóxico, carcinogénico y teratogénico que genera en la salud de humanos y animales, dependiendo de la dosis expuesta, según lo reporta la Organización Mundial de la Salud (OMS) (2006) en la evaluación de riesgos del cromo.

El cromo existe en nueve estados de valencia, así: -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6, pero se manifiesta en el medio ambiente más comúnmente como compuestos de Cr(III), Cr(VI) y en la forma metálica Cr(0). De acuerdo con Park *et al.* (2005), citado por Martínez *et al.*, (2015, pág. 14) los métodos más empleados en la eliminación de iones Cr(VI) implican la reducción química a iones de Cr(III), el cual es menos tóxico y menos soluble y la precipitación química como Cr(OH)₃ utilizando una solución alcalina. Así mismo, existen otros métodos convencionales tales como adsorción con carbón activado, electrocoagulación, ultrafiltración, intercambio iónico con resinas, ósmosis inversa, filtración con membranas y fotocatalisis (Caviedes *et al.*, 2015). Sin embargo, la eficiencia de estos métodos disminuye cuando la concentración de cromo en el agua es baja, entre (1 – 100 mg/l), por lo que su aplicación es rentable para altas concentraciones de Cr generadas en grandes empresas que cuentan con los recursos suficientes para implementarlos en sus plantas de tratamiento de aguas residuales (Ardila, 2012).

Debido a que diversos autores sugieren que los tratamientos biológicos son una manera

adecuada de tratar los sedimentos generados durante las fases del tratamiento de aguas. Peña, Cuesta, & Perez (2015) indican que, para cumplir con las normativas actuales se deben crear nuevas alternativas que permitan la remoción de los contaminantes, entre ellas propone la biorremediación, degradación enzimática, la remediación microbiana y la fitorremediación, esta última también sugerida por Franco *et al.*, (2016) quienes destacan que los sistemas biológicos contribuyen a mejorar los índices de calidad de agua y su biodegradabilidad. Así mismo, se resalta el potencial que tienen las microalgas en el tratamiento de aguas residuales (Duque, 2017).

Otro autores como Perez & Labbe (2014) destacan que el uso microalgal sirve para la reducción de compuestos contaminantes y mencionan la importancia de su uso en la producción de biocombustibles. Así mismo, Duque (2017) resalta el uso de microalgas como una fuente potencial de energía de manejo asequible y más productiva dentro de las alternativas existentes de biocombustibles. Igualmente, Hernández *et al.* (2009) evaluaron el uso microalgal como materia prima en la obtención de biocombustibles y enfatizaron en la posibilidad de reutilizar los residuos microalgales después de la extracción de lípidos y de este modo hacer uso de los residuos del proceso y dar un valor agregado. Es así como, Martínez, Paredes, & Ordoñez (2016) hacen énfasis en el uso que se le puede dar a la biomasa seca y explican cómo diversos tipos de biomasa son de gran utilidad, gracias a la capacidad interporal existente en ella; además resaltan el efecto bio-adsorbente que generan las microalgas en las aguas residuales industriales.

Cabe mencionar que las microalgas se encuentran presentes en todos los cuerpos de agua, incluso en el suelo y en la mayoría de los ambientes terrestres, adaptadas a condiciones

extremas como son pH muy ácidos o muy alcalinos, altas y bajas temperaturas y alto contenido de sales y de metales (Castañeda & Castillo, 2016). Estas condiciones son comunes al interior de las industrias, por lo que se requieren alternativas de tratamientos eficientes ajustados a estas características, que conlleven a evitar pasivos ambientales. Así mismo, el uso de microalgas se destaca por su capacidad depurativa, el poco espacio que requieren y el potencial reductor de metales pesados, tal como lo plantea Jbari (2012), quien además menciona los adelantos que se han realizado para remediar y descontaminar cuerpos de agua. Sin embargo, el uso de estos microorganismos en la remoción de metales requiere mayor investigación, por lo que se planteó el uso de biomasa viva y muerta de *Spirulina sp* para la remoción de cromo presente en aguas residuales industriales, teniendo en cuenta su capacidad reductora de metales, tamaño celular (10 - 500 μm), adaptabilidad a ambientes extremos y fácil cultivo.

Por lo anterior, se propuso en esta investigación verificar y comparar la remoción de cromo de aguas residuales generadas en una empresa metalmeccánica como unidad de estudio, a partir de cuatro alternativas de tratamientos como son: tratamiento primario de sedimentación, coagulación-precipitación química, uso de biomasa viva y biomasa muerta de la microalga *Spirulina sp*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. Teniendo en cuenta información suministrada por la Autoridad Ambiental Regional-Corpocaldas del departamento de Caldas (Colombia) sobre las caracterizaciones de agua residual a nivel empresarial se encontró que, para la ciudad de Manizales, el sector que mayores aportes genera es el sector metalmeccánico. Con base en esto se realizó un listado de las empresas relacionadas con

contaminación con cromo, con el fin de realizar el muestreo puntual en cada empresa y el respectivo análisis de cromo total. De acuerdo con los resultados obtenidos se seleccionó una empresa del sector metalmeccánico con un valor de cromo total de 32,56 mg/l en sus aguas residuales. Los ensayos se realizaron a temperatura ambiente en un intervalo entre 25-32°C y una temperatura promedio de 26,5°C.

Para desarrollar la fase experimental se utilizó agua residual industrial, agua residual industrial tratada físicamente por sedimentación, agua residual tratada por coagulación-precipitación química por adición de sulfato de aluminio y cal y una solución sintética contaminada con dicromato de potasio denominada solución patrón como punto de referencia. Los ensayos con biomasa viva y muerta de *Spirulina sp* se realizaron en agua residual, agua residual sedimentada y en la solución patrón, esto con el propósito de verificar la eficiencia de remoción de cromo con los diferentes tipos de biomasa y finalmente determinar cuál alternativa entre el uso de biomasa de *Spirulina sp*, tratamiento físico por sedimentación primaria y precipitación química resulta ser más sostenible para remover cromo de aguas residuales industriales.

Remoción de cromo de aguas residuales industriales mediante tratamiento físico y precipitación química. Para determinar la eficiencia de remoción de cromo mediante tratamiento primario de tipo físico y químico, se tomó agua residual industrial (ARI) y fue sometida a los siguientes tipos de tratamiento:

- **ARIS:** Agua residual industrial sometida a tratamiento físico de sedimentación primaria.
- **ARIT:** Agua residual industrial sedimentada con posterior tratamiento químico con adición de cal (CaO) a razón de 2,6 g/l para neutralizar el pH entre (6-7), debido a que el

agua residual industrial presentó un pH inicial entre (1-2), el cual fue medido mediante método potenciométrico. Posteriormente, se utilizó sulfato de aluminio (Al_2SO_4)₃ como agente coagulante. Para determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio se realizó una prueba de jarras a diferentes dosis del coagulante, así: 100 mg/l, 80 mg/l, 60 mg/l, 40 mg/l, 20

mg/l, de las cuales se evidenció una mejor formación de floc a una dosis de 20 mg/l.

A cada muestra de agua se le analizó Cr total mediante Digestión-Absorción Atómica- Llama directa aire acetileno (SM 3030 E) (SM 3111 B). El diseño del ensayo se puede apreciar en la Figura 2.



Figura 2. Diseño del ensayo realizado para el Tratamiento Físico y Químico.

El Porcentaje de remoción de cromo total fue calculado mediante la fórmula de eficiencia de remoción, relacionada en la ecuación 1.

$$\frac{\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final}}{\text{Concentración inicial}} \times 100$$

(Ecuación 1)

Determinación de la eficiencia de remoción de cromo a partir de biomasa viva y biomasa muerta de *Spirulina sp.* El diseño experimental consistió en el uso de ARI (Agua residual industrial), ARIS (Agua residual sedimentada) y Solución patrón (compuesta por $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ y enriquecida con medio de cultivo Zarrouk) a una concentración de 41 mg/l, debido a que se buscó trabajar a una concentración de cromo total igual o por encima de la encontrada en la unidad de estudio y de este modo tener un referente de remoción de cromo. Cada tipo de agua fue tratada con biomasa viva y muerta como se plantea en la Figura 3.

Para determinar la capacidad de remoción de cromo a partir de biomasa viva se añadió a cada reactor cepa de *Spirulina sp* a una

concentración de 1.55×10^5 células/ml correspondiente a 20 g/l. En cada reactor se verificó remoción a las 24 y 96 horas, teniendo en cuenta la dosis de biomasa y tiempos de contacto utilizados por Hong & Shan-shan (2005) para la remoción de plomo mediante biomasa viva de *Spirulina sp.*

Los ensayos se realizaron a escala laboratorio en seis bioreactores tipo batch con un volumen de reacción de 2 litros, inyección de aire mediante un compresor de capacidad de 2,9 W y medición de temperatura. Con el fin de analizar cromo en los diferentes tiempos, se tomaron alícuotas de 500 ml y se filtraron con una tela de 40 micras de porosidad (liencillo) y embudo con el fin de tamizar la microalga para los respectivos análisis del agua, los cuales fueron realizados mediante el método de Digestión-Absorción Atómica- Llama directa aire acetileno (SM 3030 E) (SM 3111 B).

Para determinar la capacidad de remoción con biomasa muerta se utilizó una dosis de 6 g/l de *Spirulina sp* verificando remoción a las 24 y 96 horas, teniendo en cuenta la dosis de biomasa y tiempos de contacto utilizados por García

Hernández (2014) para la remoción de cromo mediante biomasa muerta de *Spirulina sp.* Estos ensayos se realizaron en reactores tipo batch con capacidad de 2 litros con agitación inicial para homogenizar la solución, dicha agitación se realizó antes de tomar cada muestra.

Para realizar el muestreo de este experimento se tomaron alícuotas de 500 ml y se filtraron con el liencillo y embudo mencionados anteriormente, con el fin de tamizar la microalga para los respectivos análisis del agua a las 24 h y 96 h respectivamente (Ver Figura 3).

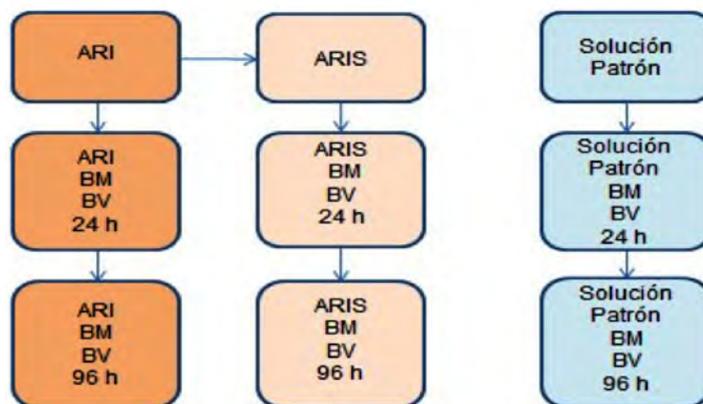


Figura 3. Diseño del ensayo realizado con biomasa viva (BV) y biomasa muerta (BM).

Resultados y Discusión

Eficiencia de remoción de cromo de aguas residuales industriales mediante tratamiento físico – químico.

En la Tabla 1 se puede apreciar los resultados obtenidos de cromo total en cada una de las alícuotas tomadas y las respectivas remociones llevadas a cabo en cada tipo de tratamiento. El agua residual fue sometida a tratamiento físico de sedimentación primaria encontrándose una remoción de cromo del 16% y una generación de aproximadamente el 5% de lodos.

Así mismo, esta fue sometida a un proceso de coagulación-precipitación química obteniendo una remoción de cromo total del 99,6%. Cabe mencionar que se analizó Cr(VI) en cada reactor presentando un resultado de <0.04 mg/l, el cual es el límite de cuantificación del método utilizado para medir cromo hexavalente; Colorimetría (SM 3500-Cr-B). Por lo tanto, se infiere que el cromo total presente en el agua residual se encuentra como Cr(III).

Tabla 1. Resultados y eficiencia de remoción de cromo con tratamiento físico-químicos.

Tratamientos	Cromo total inicial (mg/l)	Cromo total Final (mg/l)	Porcentaje de remoción
ARI-ARIS	29,3	24,7	16%
ARIS-ARIT	24,7	0,1	99,60%

De acuerdo con los resultados obtenidos, se pudo concluir que realizar tratamiento físico mediante sedimentación es ineficiente ya que en este estudio se demostró una remoción de cromo del 16%. Sin embargo, el uso de un tratamiento de coagulación química con sulfato de aluminio y precipitación básica con cal puede generar remociones superiores al 99% para cromo total, lo que resulta efectivo para lograr valores inferiores a 0.5 mg/l, que coincide con el límite establecido en la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) (2015) para el caso de actividades de tratamiento y revestimiento de metales. Sin embargo, aunque resulta efectivo se debe tener en cuenta que aproximadamente el 30% del volumen del agua tratada se convierte en lodos, los cuales deben ser tratados y dispuestos de manera secundaria. Ortiz & Carmona

(2015) y Tovar, Ortiz & Jaraba (2015) coinciden en indicar que la formación, disposición y almacenamientos de lodos y desechos, es de difícil manejo y no es posible hacer recuperación del cromo. Por lo tanto, con el tratamiento químico no es factible separar y recuperar el metal de los sedimentos para su posterior aprovechamiento.

Determinación de la eficiencia de remoción de cromo a partir de biomasa viva y biomasa muerta de *Spirulina sp.*

Los análisis de cromo total con biomasa viva y muerta de *Spirulina sp.* se realizaron a las 24 y 96 horas tal como se observa en la Tabla 2. Los experimentos se realizaron en agua residual industrial (ARI), agua residual industrial sedimentada (ARIS) y en solución sintética denominada solución patrón, la cual contuvo como contaminante dicromato de potasio.

Tabla 2. Resultados y eficiencia de remoción de cromo con biomasa viva y muerta

Ensayos	Cromo total inicial (mg/l)	Cromo total Final (mg/l)	Porcentaje de remoción
Biomasa Viva			
ARI 24 h	29,3	1,02	96,50%
ARI 96 h	29,3	14,2	48,48%
ARIS 24 h	24,7	21,7	12%
ARIS 96 h	24,7	22,7	8%
Solución patrón 24 h	41	0,8	98%
Solución patrón 96 h	41	40,2	2%
Biomasa Muerta			
ARI 24 h	29,3	20,3	30,70%
ARI 96 h	29,3	22,6	22,80%
ARIS 24 h	24,7	21,2	14%
ARIS 96 h	24,7	23,9	3%
Solución patrón 24 h	41	24,8	39,51%
Solución patrón 96 h	41	40,1	2%

En los análisis realizados con biomasa viva se encontró que en el agua residual industrial se lograron remociones de Cr total del 96,50% a las 24 horas y 48,48% a las 96 horas. Para agua residual industrial sedimentada el porcentaje de remoción fue del 12% y 8%, respectivamente y para la solución patrón fue de 98% y 2% en cada periodo de tiempo. En general, se evidencia una eficiencia de remoción superior a las 24 horas, ya que a las 96 horas la biosorción se revierte. Esto indica que hay desorción después de las 24 horas, ya que la microalga retiene lo que necesita para su metabolismo y expulsa el excedente.

En cuanto a las eficiencias encontradas utilizando biomasa muerta, después de 24 y 96 horas de tratamiento de agua residual industrial se evidencio 30,7% y 22,8% de remoción, respectivamente. Para el agua residual industrial sedimentada la remoción fue del 14% y 3% respectivamente. Para la solución patrón fue de 39,51% y 2% en cada periodo de tiempo. Al igual que con la biomasa viva, se generó una desorción o liberación del contaminante posterior a las 24 horas, debido al proceso de degradación de la biomasa muerta. Cabe mencionar que tras 48 horas, el agua generó fuertes olores propios de la materia orgánica en estado de descomposición.

Los resultados obtenidos permiten comprender que el cromo sigue estando presente en la solución. Es por esto que se puede inferir que el proceso que se está generando está asociado a la fisorción, donde la partícula no se fija en un lugar específico, sino que está libre para trasladarse en la solución, conservando su naturaleza química. (Tovar, Ortiz, & Jaraba, 2015).

La relación entre la remoción de cromo con biomasa viva y biomasa muerta está dada por dos situaciones; el tamaño y la capacidad poral. En primer lugar, la remoción con biomasa viva fue

mayor debido al tamaño de la microalga, pues ésta es una microalga que tiene un tamaño entre 10 a 500 μm , por lo tanto, presenta mayor área superficial donde se pueden localizar los residuos o partículas del contaminante. Se infiere además que, el proceso mencionado por Tovar, Ortiz & Jaraba (2015) de fisorción fue el presentado en esta investigación, teniendo en cuenta la agitación del agua al momento de la toma de cada alícuota, por efecto hidrodinámico de las partículas que están en la superficie de la microalga, estas son liberadas nuevamente al medio. Teniendo en cuenta los resultados de la tabla 2 para biomasa viva, se infiere que el cromo continúa presente en el medio y en consecuencia se generó una desorción del contaminante.

En segundo lugar, la biomasa muerta pierde dos terceras partes de su tamaño y aunque no tiene tanta área superficial como la biomasa viva, por ser seca tiene la capacidad de rellenar las áreas intersticiales porales con los contaminantes a modo de adsorbente, además la degradación generada en la biomasa muerta es mucho más rápida debido a los procesos de desintegración. Por lo tanto, se da una liberación más rápida de lo almacenado, como se evidenció en los resultados obtenidos para biomasa muerta, tal como se muestra en la tabla 2.

Otro factor a tener en cuenta con la biomasa viva y muerta es el tiempo de degradación de cada una de estas, debido a que la biomasa seca ha perdido humedad y tamaño, lo que genera que se aumente su capacidad poral. Entre tanto la biomasa viva mantiene tamaño y debe deshidratarse para iniciar su proceso de descomposición lo que conlleva un mayor tiempo de degradación, como se puede verificar al comparar las remociones después de 96 horas con biomasa viva y biomasa seca.

Hong & Shan-shan (2005) estudiaron el potencial que tiene la *Spirulina sp* en estado vivo para

la biorremediación de metales pesados como el plomo encontrando una biosorción del metal del 95% dentro de las 24 h. Los resultados experimentales reportados en esta investigación son similares a las 24 h logrando una eficiencia de remoción del 96,5% y del 98% para agua residual industrial y agua sintética, respectivamente.

García Hernández (2014) estudió la remoción de cromo de agua sintética utilizando biomasa de *Spirulina máxima*, encontrando una eficiencia de remoción de 23,67% de Cr(III) en las primeras 72 horas para una concentración inicial de 101.72 mg/l y dosis de biomasa de 2 g/l. Resultados análogos con esta investigación, teniendo en cuenta las primeras 24 h de contacto biomasa-solución patrón, ya que en este estudio fue utilizada una dosis tres veces mayor de biomasa, lo que requiere menor tiempo de contacto.

CONCLUSIONES

La eficiencia de remoción de cromo mediante un proceso físico de sedimentación fue del 16%, lo que resulta importante, ya que es una alternativa económica de fácil implementación en las pequeñas y medianas empresas y permite contribuir a mejorar la calidad del agua antes de la implementación de un tratamiento químico y/o biológico.

La remoción de cromo a partir de adición de cal para mantener un pH óptimo de coagulación con sulfato de aluminio, generó una remoción de cromo total de más de 99%. Sin embargo, este tipo de tratamiento a su vez implica la generación de grandes volúmenes de lodos activos (aproximadamente el 30% en volumen del agua tratada) que igualmente deben ser tratados.

La *Spirulina sp* es una microalga de fácil manejo a nivel laboratorio, ya que debido a su tamaño sólo requiere un mecanismo de filtrado para

su separación, por lo que experimentar con ella resulta accesible para los investigadores.

Se observó que las remociones generadas a partir de biomasa viva y muerta generaron mejores remociones a las 24 horas, lo que podría sugerir que para la biomasa viva se va dando una liberación paulatina de los contaminantes en la medida que la microalga se deteriora o cumple su ciclo de vida. Para la biomasa muerta, ésta libera el cromo a medida que se va degradando, lo cual se lleva a cabo en menor tiempo que en el caso de la biomasa viva.

El que la biomasa retenga el contaminante y luego libere los componentes como parte de un proceso de desorción y/o degradación permite comprender que esta técnica puede ser implementada para el proceso de recuperación de cromo y de este modo evitar que se genere gran cantidad de residuos secundarios por efecto de los tratamientos químicos.

RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer investigaciones con *Spirulina sp* relacionadas con la remoción de cromo de aguas residuales utilizando el remanente de la biomasa después de la extracción de lípidos para producción de biodiesel, con el fin de incrementar la factibilidad social, económica y ambiental en la producción del biocombustible y el tratamiento de aguas residuales.

Se sugiere hacer un análisis del contenido de cromo en la biomasa de *Spirulina sp* generada durante las investigaciones enfocadas a la biosorción de este metal en aguas residuales, debido a que resulta importante conocer la cantidad de cromo adsorbido o absorbido por la microalga.

Se aconseja realizar un experimento semejante en tiempos inferiores a las 24 horas, ya que en esta investigación se encontró una

disminución del porcentaje de remoción al aumentar el tiempo de contacto.

AGRADECIMIENTOS

Al departamento de Norte de Santander y a Colciencias por brindar su apoyo con la beca de formación de capital humano de alto nivel en el marco de la convocatoria N° 753 de 2016.

A Corpocaldas; al CIMAD de la Universidad de Manizales y a la Empresa Relma.

LITERATURA CITADA

- Ardila, L. F. (2012). *Medición de la capacidad de Chlorella vulgaris y Scenedesmus acutus para la remoción de cromo de aguas de curtiembre*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: www.bdigital.unal.edu.co/10276/1/299936.2012.pdf
- Castañeda, L., & Castillo, J. (2016). *Influencia de la iluminancia, pH y tiempo en la remoción de sulfuros, Sólidos suspendidos, Demanda química y biológica de oxígeno de efluentes de ribera en curtiembres utilizando microalgas en un bioreactor a escala laboratorio*. Obtenido de Universidad de Trujillo: <http://dspace.unitru.edu.pe>
- Caviedes, D. I., Muñoz, R. A., Perdomo, A., Rodríguez, D., & Sandoval, I. J. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. *Ingeniería y Región*, 73-90.
- Duque, J. L. (2017). Viabilidad en la producción de biomasa microalgal a partir de fotobioreactores solares en el Valle del Cauca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental Vol 8*, 127-140.
- Franco, A. R., Naranjo, J. M., Nieto, D. M., & Sierra, M. S. (2016). Implementación de un sistema de fitorremediación en zona aledaña a reservaforestal protectora El Malmo, Boyacá, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 93-103.
- García Hernández, M. d. (Julio de 2014). Remoción de Cr(VI) de soluciones acuosas por biomasa de Spirulina máxima en un proceso en lote. San Nicolás de la Garza, Nuevo León, México.
- Hernández, A. G., Vázquez-Duhalt, R., Saavedra, M. d., Carreón, L. S., & Jiménez, A. M. (2009). Biodiesel a Partir de Microalgas. *Bio Tecnología*, 38-61.
- Hong, C., & Shan-shan, P. (2005). Bioremediation potential of spirulina: toxicity and biosorption studies of lead. *Journal of Zhejiang University SCIENCE*, 171-174.
- Jbari, N. (Septiembre de 2012). Utilización secuencial de microalgas en depuración y adsorción de Cr(VI). Granada, España: Editorial de la Universidad de Granada.
- López, F. A., González, A. R., & Guzmán, J. M. (2016). Comparación de la reglamentación para el manejo de lodos provenientes de agua residual en Argentina, Chile y Colombia.pdf. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 227-237.
- Martínez, E. R., González, J. C., Juárez, V. M., & Rodríguez, I. A. (2015). Remoción de Cromo (VI) por una Cepa de Aspergillus niger Resistente a Cromato. *Información tecnológica*, 13-20.
- Martínez, R. I., Paredes, J. F., & Ordoñez, D. H. (2016). Empleo del estropajo común (Luffa cylindrica) en la remoción de contaminante. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 205-215.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (17 de Marzo de 2015). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Recuperado el 01 de Marzo de 2016, de www.minambiente.gov.co/images/.../app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2006). Guías para la calidad del agua potable primer apéndice a la tercera edición. *Recomendaciones Organización Mundial de la Salud. Primer apéndice a la tercera edición. Volumen 1*, 270.
- Ortiz, N. E., & Carmona, J. C. (2015). Aprovechamiento de cromo eliminado en aguas residuales de curtiembres (San Benito Bogotá) mediante tratamiento con sulfato de sodio. *Luna Azul*, 117-126.
- Peña-Hernandez, G. A., Cuesta-Gonzalez, F. A., & Perez, J. F. (2015). Remoción de carga contaminante en aguas residuales industriales a escala de laboratorio. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 157-168.
- Perez, A. H., & Labbe, J. I. (2014). Microalgas cultivos y beneficios. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 157-173.
- Tovar, C. t., Ortiz, A. V., & Jaraba, L. G. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnología*, 109-123.

Conflicto de Intereses
Los autores declaran no tener
ningún conflicto de intereses



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons
Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

La **Revista de Investigación Agraria y Ambiental (RIAA)** es una publicación oficial de la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA) de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), destinada a publicar artículos resultado de las investigaciones originales en el área agraria y ambiental y áreas de conocimiento afines, en temas relacionados con los avances en producción animal, agricultura y uso sostenible de los recursos naturales. Como ejemplos de áreas afines citamos, entre otras, la Ética, la Ecología, la Sociología, la Geografía, la Historia, el Derecho y la Economía, cuando se ocupan de perspectivas del desarrollo, de estilos de agricultura, de historia agraria, de desarrollo sustentable, de ética ambiental, de política agraria y ambiental, legislación ambiental, forestal y agraria o de contribuciones significativas e innovadoras con visión sistémica, interdisciplinaria y/o transdisciplinaria.

La **misión** de RIAA es fomentar la comunicación y colaboración entre investigadores nacionales e internacionales a través de la divulgación y transferencia de conocimiento relacionado con las ciencias agrarias y del medio ambiente, con el fin de fortalecer la generación de nuevo conocimiento. Las temáticas en las que RIAA publica sus productos de investigación son:

1. Agroecología y modelos de producción sostenible
2. Fisiología y Nutrición animal
3. Etología y bienestar animal
4. Uso y manejo del suelo
5. Principios y estrategias de gestión ambiental
6. Desarrollo rural, Educación y Proyección social
7. Biotecnología y energías alternativas
8. Sistemas Agroforestales, agroforestería, Agrobiodiversidad
9. Tecnologías limpias
10. Gestión integral de residuos sólidos
11. Modelación Ambiental y gestión del riesgo
12. Cambio climático
13. Diagnostico y control de la contaminación
14. Ética animal y ambiental
15. Procesos alternativos para tratamiento de aguas.

Proceso de arbitraje de manuscritos

El editor recibe los manuscritos postulados para publicación y revisa que estén orientados a las temáticas de RIAA y conforme a las normas de publicación. Después de esto, los originales pasan al Comité editorial para designación de pares externos. Todo original se somete a arbitraje en la modalidad de doble ciego, al menos por dos pares, los cuales deben ser académicos, especialistas o árbitros ad hoc. De acuerdo con el dictamen de los pares (el cual se registra en el formato para concepto de evaluación), se solicita o no a los autores la realización de modificaciones mayores o menores y la adecuación de los originales a la política editorial de la revista. En el caso de los *working paper* se requiere un solo par evaluador y el concepto de uno de los integrantes del comité científico, dado que NO hacen parte de los artículos oficiales de la revista.

En caso de que un documento presente un concepto favorable y otro desfavorable, será enviado a un tercer evaluador cuya opinión será definitiva, siendo el Comité Editorial el encargado de dirimir cualquier controversia que se presente con respecto a las evaluacio-

nes, y es la instancia que decide qué artículos serán publicados, las decisiones del Comité Editorial son inapelables.

Las correcciones ortográficas en el texto son hechas directamente por el equipo editorial de la revista, sin consultar a los autores, además tiene la autonomía de revisar el documento y compararlo con softwares anti-plagio con miras de asegurar la originalidad del manuscrito, luego de este proceso, el comité emitirá observaciones que el autor debe acatar previo a la evaluación por pares. Sin embargo, una versión final antes de impresión y/o publicación en la página web de la RIAA será enviada a los autores para su aprobación. Se considera que la versión final es aceptada si el autor no responde en los tiempos estimados.

La recepción de un manuscrito no obliga a la publicación del mismo. La revisión de los manuscritos se hará respetando el derecho de los autores a la confidencialidad en cuanto a la información, resultados y esfuerzo creativo. Así mismo, se respetará el derecho a la confidencialidad de los revisores y editores.

Política de acceso libre

RIAA proporciona acceso público y gratuito a todo su contenido con el fin de promover un mayor intercambio global del conocimiento y fomentar la lectura y citación de los originales publicados. RIAA no tolera ninguna forma de plagio. (total, parcial o conceptual). En caso de identificar algún plagio, además de informar al autor el retiro del artículo, buscará advertir a los autores plagiados. RIAA se acoge a lo establecido en la política de plagio de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).

Periodicidad

RIAA es una publicación semestral (enero-junio y julio-diciembre).

Idioma

Los manuscritos enviados pueden estar escritos en español o inglés.

Presentación de manuscritos

La RIAA tiene varias tipologías de artículos:

- Artículos de Investigación
- Artículos de revisión
- Artículos de reflexión
- Documentos de trabajo o working paper

Los **artículos de investigación**, se asocian a la divulgación de productos de investigación en sentido estricto. Este formato de manuscritos debe contar con: Introducción, Materiales Y Métodos, Resultados Y Discusión, Conclusiones, Agradecimientos y Literatura citada.

Por otro lado, el **artículo de revisión** es la sistematización, análisis y balance de lo investigado sobre un problema en particular y tiene por objeto dar cuenta de sus referentes conceptuales, metodológicos y epistemológicos, además de los avances y tendencias del campo investigado. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión analítica de por lo menos 50 referencias bibliográficas. Un 60% de la literatura citada debe provenir de investigaciones publicadas en los últimos 4 años. La estructura que debe tener es: Introducción, Planteamiento De La Temática, Recuperación Bibliográfica (En Forma De Tablas, Pictogramas, Mapas Conceptuales Entre Otros.), Discusión De Los Hallazgos, Conclusiones, Agradecimientos Y Literatura Citada.

Luego el **artículo de reflexión** es un texto donde el autor presenta resultados de una investigación con una perspectiva analítica, interpretativa y crítica, basado en observaciones o fuentes originales. Estructura: Introducción, Planteamiento de la temática, Desarrollo, Conclusiones, Agradecimientos y Literatura citada.

Finalmente, los **documentos de trabajo o "working paper"** son versiones previas a la publicación de artículos académicos, capítulos de libros, reseñas, los cuales son de prioridad divulgar. Este tipo de documento cumple con los mismos parámetros: Introducción, Materiales Y Métodos, Resultados Preliminares y Discusión, Conclusiones, Agradecimientos y Literatura Citada.

Remisión del manuscrito

Como parte del proceso de envío, los autores están obligados a comprobar que su envío cumpla todos los elementos que se muestran a continuación. Se devolverán a los autores aquellos envíos que no cumplan estas directrices.

Lista de comprobación inicial:

1. El manuscrito es inédito, no se ha publicado previamente, ni está siendo postulado simultáneamente a otra publicación.
2. Cumple con los lineamientos establecidos en las Instrucciones para Autores.
3. Se emplea la plantilla diseñada para la presentación de manuscritos.
4. Se han registrado todos los autores en el envío. Este paso es indispensable para evitar retrasos posteriores en el proceso, edición y publicación del artículo.
5. Citas y referencias redactadas según estilo APA.
6. Emplea tesauros para la construcción de palabras clave.

Formato general del documento

- Documento en formato Word
- Tamaño de papel carta (21.5 x 27.9 cm) y márgenes 3 cm superior, 2.5 cm izquierda, 3 cm inferior y 2 cm derecha, a una sola columna.
- Tipo de letra Verdana, tamaño 10.
- Espacio interlineal de 1.15 cm.

- Se recomienda que la extensión de los manuscritos postulados para publicación no exceda las 4000 palabras (incluyendo tablas, figuras y literatura citada), y hasta 6000 palabras para los artículos de revisión (incluyendo tablas, figuras y literatura citada).
- Si tiene figuras que ocupen una página completa (dos cuartillas), le recomendamos que lo coloque como anexo al documento. Esta figura quedará enlazada en el espacio web donde se alojará su artículo y en el caso de la versión impresa se maneja con código QR.

Título y autores

El título no debe exceder 15 palabras. Debe describir el contenido del artículo de manera clara y concisa, evitando el uso de palabras ambiguas, abreviaturas y signos de interrogación y exclamación.

Para cada uno de los autores que aparecen en el encabezado se debe proporcionar: nombre completo, último título académico obtenido o estudios actuales, filiación institucional, ciudad y país, correo electrónico. Omita cargos, grados docentes, nombres de grupo de investigación, reconocimientos, etc.

Tablas y figuras

Las tablas deben explicarse por sí solas y no duplican lo planteado en el texto, sino que lo sustituyen o complementan.

Dentro del texto refiérase a la tabla de la siguiente forma, (Tabla 1). Presente los datos en una tabla real sin líneas y columnas, a espacio sencillo, sin divisiones verticales ni divisiones internas. Se deben utilizar unidades del Sistema Internacional (SI). Las abreviaturas y acrónimos deben ser explicados como notas al pie en cada tabla. En ningún caso se admitirán tablas en formato apaisado.

Un ejemplo de la presentación de una tabla es:

Tabla 1. Ejemplo de la presentación de una tabla

Número de la muestra	Nombre	Apellido	Departamento
M1	Milton	Rodríguez	Cundinamarca
M2	Alberto	Ruiz	Cundinamarca
M3	Ricardo	Cadena	Cundinamarca

Fuente de consulta: adaptado de: XXXXX.

Dentro de la categoría de figuras se incluyen gráficos, imágenes, fotos, y cada una de ellas debe tener su correspondiente leyenda y fuente, en caso de ser de su propia autoría mencionarlo. Las abreviaturas y acrónimos deben ser explicados en la leyenda de la figura. Las figuras deben ser enviadas en formato **.jpg**, **.gif** o **.png** y deben tener la calidad necesaria para su publicación (más de 1024píxeles). Un ejemplo de figura:

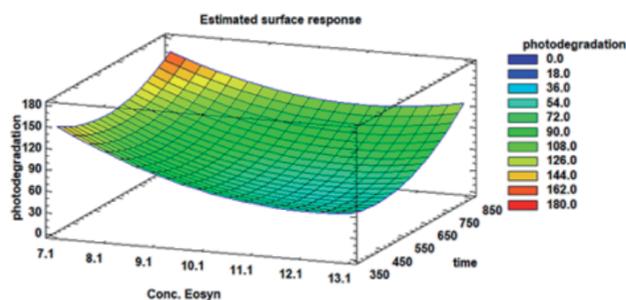


Figura 1. Título de la figura. Leyenda de la figura, el tipo de letra verdana tamaño 9.

Fuente: xx

Ecuaciones

Todas las ecuaciones se enumeran al lado de la misma de la forma ecuación 1 citadas en el texto como (ecuación 1). Las ecuaciones se sugieren que se desarrollen en el *editor de ecuaciones de Microsoft Word* o a través de la aplicación de *Mathtype*.

Literatura citada

Deberán incluirse todas aquellas fuentes o autores que fueron citados en el cuerpo del documento. Nunca deberá referenciarse un autor que no haya sido citado y viceversa. Tenga en cuenta que no se admitirán artículos sin referencias. Un 60% de las citas debe provenir de investigaciones publicadas en los últimos 10 años.

Esta lista se organiza en orden alfabético y sin enumerar, y cada una debe tener sangría francesa. Para la referenciación de números o volúmenes de alguna publicación usar números arábigos y no romanos.

Forma básica:

Apellido, A.A., Apellido, B.B., y Apellido, C. C. (Año). Título del artículo. *Nombre de la revista*, volumen (número), pp-pp.

Solo utilice fuentes electrónicas que correspondan a publicaciones con respaldo institucional, cuyo contenido no pueda ser modificado o eliminado en el futuro. No utilice información proveniente de páginas comerciales o sitios de opinión.

GUIDE FOR AUTHORS

The Journal of Agrarian and Environmental Research (RIAA) is an official publication of the School of Agricultural, Livestock and Environment Sciences (ECAPMA) of the National Open and Distance University (UNAD), destined to publish articles resulting from the original investigations in the agrarian and environmental area and related areas of knowledge in animal production, agriculture and sustainable use of natural resources. As examples of related areas, mention, among others, Ethics, Ecology, Sociology, Geography, History, Law and Economics, when dealing with perspectives of development, styles of agriculture, agrarian history, development sustainable, of environmental ethics, of agrarian and environmental policy, environmental, forestry and agrarian legislation or of significant and innovative contributions with a systemic, interdisciplinary and / or transdisciplinary vision.

The mission of RIAA is to promote communication and collaboration between national and international researchers through the dissemination and transfer of knowledge related to agricultural sciences and the environment, to strengthen the generation of new knowledge. The subjects in which RIAA publishes its research products are:

1. Agroecology and sustainable production models
2. Animal physiology and nutrition
3. Ethology and animal welfare
4. Land use and management
5. Principles and strategies of environmental management
6. Rural development, Education and Social projection

7. Biotechnology and alternative energies
8. Agroforestry systems, agroforestry, agrobiodiversity
9. Clean technologies
10. Integral management of solid waste
11. Environmental Modeling and risk management
12. Climate change
13. Diagnosis and pollution control
14. Animal and environmental ethics
15. Alternative processes for water treatment.

Article arbitration process

The editor receives the postulated manuscripts for publication and reviews that are oriented to the RIAA themes and in accordance with the publication rules. After this, the originals pass to the Editorial Committee for the appointment of external peers. All originals are submitted to arbitration in the double-blind modality, at least two pairs, which must be academics, specialists or *ad hoc* arbitrators. According to the opinion of the peers (which is recorded in the format for evaluation concept), the authors are requested or not to make major or minor modifications and the adaptation of the originals to the editorial policy of the journal. In the case of working papers, only one evaluating pair and the concept of one of the members of the scientific committee are required, since they are NOT part of the official articles of the journal.

In the event that a document presents a favorable and unfavorable concept, it will be sent to a third evaluator whose opinion will be final, with the Editorial Committee in charge of resolving any dispute that may arise with respect to the evaluations, and it is the instance that decides which articles will be published, the decisions

of the Editorial Committee are unappealable. The orthographic corrections in the text are made directly by the editorial Committee of the journal, without consulting the authors, it also has the autonomy to review the document and compare it with anti-plagiarism software in order to ensure the originality of the manuscript, after this process, the committee will issue observations that the author must comply with prior to the peer evaluation. However, a final version prior to printing and / or publication on the RIAA website will be sent to the authors for approval. It is considered that the final version is accepted if the author does not respond in the estimated times.

The reception of a manuscript does not oblige the publication thereof. The revision of the manuscripts will be done respecting the right of the authors to the confidentiality regarding the information, results and creative effort. Likewise, the right to confidentiality of reviewers and editors will be respected.

Remission of the manuscript

As part of the submission process, authors are required to verify that their submission meets all the elements shown below. Authors who do not comply with these guidelines will be returned to the authors.

Initial checklist:

1. The manuscript is unpublished, it has not been previously published, nor is it being simultaneously submitted to another publication.
2. It complies with the guidelines established in the Instructions for Authors.
3. The template designed for the presentation of manuscripts is used.
4. All authors have been registered in the shipment. This step is essential to avoid further delays in the process, editing and publication of the article.

5. references written according to APA style.
6. Use thesauri for the construction of keywords.

Free Access policy

RIAA provides free public access to all its content to promote a greater global exchange of knowledge and encourage the reading and citation of published originals. RIAA does not tolerate any form of plagiarism (total, partial or conceptual). In case of identifying any plagiarism, in addition to informing the author of the withdrawal of the article, it will seek to warn the plagiarized authors. RIAA accepts the provisions of the plagiarism policy of the National Open and Distance University (UNAD).

Frequency

RIAA is a biannual publication (January-June and July-December).

Language

Submitted manuscripts may be written in Spanish or English.

Postulation of manuscripts

The RIAA has several types of articles:

- Research Articles
- Review articles
- Reflexion articles
- working paper

Research articles are associated with the dissemination of research products in the strict sense. This manuscript format should have: introduction, materials and methods, results and discussion, conclusions, acknowledgments and cited Literature.

On the other hand, **the review article** is the systematization, analysis and balance of the research on a problem and aims to account for their conceptual, methodological and epistemological references, in addition to the advan-

ces and trends of the field investigated. It is characterized by presenting a careful analytical review of at least 50 bibliographical references. 60% of the cited literature must come from research published in the last 4 years. The structure that must have is: introduction, approach of the subject, bibliographic recovery (in the form of tables, pictograms, conceptual maps among others.), Discussion of the findings, conclusions, acknowledgments and literature cited.

Then the **Reflexion's article** is a text where the author presents results of a research with an analytical, interpretative and critical perspective, based on observations or original sources. Structure: Introduction, Approach of the theme, Development, Conclusions, Acknowledgments and Literature cited.

Finally, the working papers are versions prior to the publication of academic articles, book chapters, reviews, which are of priority to disclose. This type of document complies with the same parameters: introduction, materials and methods, preliminary results and discussion, conclusions, acknowledgments and Literature cited.

General format of the document

Document in Word format

Letter paper size (21.5 x 27.9 cm); margins 3 cm upper, 2.5 cm left, 3 cm lower and 2 cm right, to a column.

Font Verdana, size 10.

Interlinear space of 1.5.

It is recommended that the extension of manuscripts postulated for publication does not exceed 4000 words (including tables, figures and literature cited); 6000 words for review articles.

If you have figures that occupy a complete page (two pages), we recommend that you place it as an annex to the document. This figure will be linked in the web space where your article will be housed and in the case of the printed version, it will be handled with a QR code.

Titles and authors

The title must not exceed 15 words. You must describe the content of the article clearly and concisely, avoiding the use of ambiguous words, abbreviations and question marks and exclamation marks.

For each of the authors that appear in the header, you must provide: full name, last academic degree obtained or current studies, institutional affiliation, city and country, email. Omit charges, teaching degrees, research group names, recognitions, etc.

Tables and figures

The tables must be explained by themselves and do not duplicate what is stated in the text, but replace or complement it.

Within the text refer to the table as follows: (Table 1). Present the data in a real table without lines and columns, in single space, without vertical divisions or internal divisions. International System (SI) units must be used. Abbreviations and acronyms should be explained as footnotes in each table. In no case will tables be allowed in landscape format. An example of the presentation of a table is:

Table 1. Example of the presentation of a table

Number of the sample	Name	surname	Providence
M1	Milton	Rodríguez	Cundinamarca
M2	Alberto	Ruiz	Cundinamarca
M3	Ricardo	Cadena	Cundinamarca

Source: xxxxx

Within the category of figures include graphics, images, photos, and each one of them must have its corresponding legend and source, in case it is of its own authorship to mention it. The abbreviations and acronyms must be explained in the legend of the figure. The figures must be sent in .jpg .gif or .png format and must have the necessary quality for publication (more than 1024pixels).

Equations

All the equations are listed next to it in the equation form 1 cited in the text as (equation 1). The equations are suggested to be developed in the Microsoft Word equation editor or through the Mathtype application.

References and bibliographical citations

All those sources or authors that were cited in the body of the document should be included. An author who has not been cited must

never be referenced and vice versa. Keep in mind that articles without references will not be accepted. 60% of citations must come from research published in the last 10 years.

This list is organized in alphabetical order and without enumeration, and each one must have French indentation. For the reference of numbers or volumes of some publication, use Arabic and non-Roman numerals.

Basic form:

Surname, A.A., Surname, B.B., and Surname, C. C. (Year). Article title. *Name of the journal*, volume (number), ##-##.

Only use electronic sources that correspond to publications with institutional support, whose content can not be modified or eliminated in the future. Do not use information from commercial pages or opinion sites.