
REVISTA DE INVESTIGACIÓN AGRARIA Y AMBIENTAL

Volumen 10 Número 2 – (Julio - diciembre de 2019)
ISSN 2145-6453

Revista de Investigación Agraria y Ambiental

Volumen 10 Número 2 – (Julio - diciembre de 2019) – ISSN 2145-6453

CUERPO DIRECTIVO

JAIME ALBERTO LEAL AFANADOR

Rector UNAD

CONSTANZA ABADÍA GARCÍA

Vicerrector Académica y de Investigación

LEONARDO YUNDA PERLAZA

Vicerrector de Medios y Mediaciones Pedagógicas

LEONARDO EVEMELETH 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.
Universidade 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

ELISABETE FIGUEIREDO

Socióloga, Ph.D. en Environmental Sciences
University of Aveiro

HENRY ZUÑIGA

Ingeniero Químico, PhD en Ingeniería Ambiental
Docente Facultad de Ingeniería Tecnológico 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/>

Diseño y diagramación

Hernán Vásquez Giraldo
Zonacreativacolombia@hotmail.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).



Ranking Rev-Sapiens 2018
Revista clasificada por Sapiens Research
<https://www.srg.com.co/revsapiens.php>

Galardon obtenido por RIAA en el año 2018 como una de las revistas colombianas con mayor visibilidad internacional.

ÍNDICE

Editorial

Gloria M. Doria H.
Margarita R. Bonilla O.

13

Área Agrícola

Uso de *eisenia foetida* (*oligoquetos: lumbricidae*) para la producción de bioabono, Bogotá – Colombia

*Use of eisenia foetida (oligochaeta: lumbricidae)
for compost production, Bogotá - Colombia*

Paola Rivera Gallegos y Andrea Yate-Segura

15

Diversidad de Artrópodos en tres sistemas de manejo agronómico de café en el Municipio de Líbano, Tolima, Colombia

*Diversity of Arthropods in three systems of agronomic management
of coffee in the Municipality of Líbano, Tolima, in Colombia*

Mauricio García Arboleda y Nancy Barrera

37

Efecto de una fuente alterna de fósforo en la producción de cebolla de bulbo (*allium cepa* L.) bajo condiciones de campo

*Effect of an alternate source of phosphorus in the yield of onion
(allium cepa L.) under field conditions*

Elberth Hernando Pinzón-Sandoval, Oscar Eduardo Munevar-Garcia, David Fernando
Torres-Hernandez y Edwin Ferney Cruz-Ruiz

51

Modelo para la construcción colectiva de conocimiento para la ruralidad

Model of collective construction of knowledge for rurality

Deyser Gutiérrez A., Mary Ortega G., Cesar Henao V., Carlos Torres V. y Jonathan Sánchez G.

63

Área Pecuaria

Comportamiento de forrajeo en nutrias gigantes (*Pteronura brasiliensis*), un estudio de caso en Santa Rosa de Sapuara, departamento de Guainía, Colombia

Foraging behavior in giant otters (Pteronura brasiliensis), a case study in Santa Rosa de Sapuara, department of Guainía, Colombia

Engelbert Chavez-Fontecha, Myriam Janeth Ortega Torres y Camilo Torres Romero

75

Análisis histórico de la composición química de forrajes tropicales en Colombia entre 1985 y 2015. I - Gramíneas Forrajeras

Historical Analysis of chemical composition of tropical grasses in Colombia between 1985 and 2015. I – Forage Grasses

Wilmer Alfonso Cuervo Vivas, Luz Elena Santacoloma Varón y Leonor Barreto de Escovar

89

Área Ambiental

Fotocatálisis heterogénea para el tratamiento de aguas residuales generadas en el baño del ganado

Heterogeneous photocatalysis for the treatment of wastewater from cattle bath

Arnulfo Estrada-Martínez, José Ortega-Ruiz, Iván Urango-Cardenas, German Enamorado-Montes y José Marrugo-Negrete

115

Análisis del relacionamiento de los grupos humanos con el bosque desde los principios de Ostrom

The relationship between social groups and the forest: an analysis using Ostroms principles

María Fernanda Franco Ortiz, y Jaime Alberto Moreno Gutiérrez

127

Modelo para la evaluación dinámica de la gestión de residuos ordinarios de la ciudad de Bogotá y su influencia en el índice de calidad ambiental urbana

Model for the dynamic management assessment of ordinary waste in Bogota and its influence on the Urban Environmental Quality Index

Jennifer Rodríguez Andrade y Danny Ibarra Vega

143

ÍNDICE

Influencia del tipo de sección transversal en la hidrodinámica de los colectores solares de los fotobiorreactores tubulares

Influence of the cross-section type in the hydrodynamics of solar collectors of tubular photobioreactors

José Luis Ramírez Duque y Mabel Angélica Ramos Lucumi

163

Instrucciones para los Autores

173

EDITORIAL

En la actualidad los retos de la escritura científica son mas diversos, pero la verdad para cualquier investigador de alto reconocimiento académico solo dirá desde su experiencia “la única forma de aprender a escribir es haciéndolo” sin embargo, la escritura científica se vuelve hasta cierto modo subjetiva, porque depende de los intereses de la revista, sus áreas de especialidad, intereses de autores y factores de impacto tanto de la revista como del mismo autor, aspecto predominante en la visibilización científica.

Lo realmente cierto es que la escritura científica debe crear escuelas, nuestros estudiantes deben empoderarse del léxico académico necesario, no solo para plasmar conocimiento, también para escribir de forma correcta, que el lector sienta la suficientemente satisfacción luego de haber leído ese escrito por su forma clara y sencilla del texto y que a su vez sirva de soporte para su investigación, por lo que de forma inmediata es posible pensar que la raíz de una buena escritura científica debe surgir desde la formación, no solo tener investigadores con alta experticia en el área de conocimiento, sino que también usen adecuadamente las estructuras gramaticales, con cohesión y coherencia, que permitan el uso de nuestro idioma nativo de una forma enriquecida y se vuelva en el un tiempo también una forma de lenguaje científico.

Muy pocas universidades le dan apuestas a la escritura formativa, pensada como aquellos espacios en donde los estudiantes crecen para aprender a escribir, y que tienen como finalidad la generación de un conocimiento integral que permitan tener futuros investigadores y autores con grandes competencias escriturales, por lo que se podría pensar que la forma más idónea de potenciar nuestras revistas e investigadores, es enseñar a los editores a editar, a los investigadores a impulsarlos en este arduo camino y a las semillas enseñarles a escribir para que sean capaces de replicar conocimiento de forma tal que las revistas no necesiten mecanismos de visibilización porque el investigador por si solos posicionen las revistas en las que publican.

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

Margarita Bonilla
Coeditora- Coeditor

USO DE EISENIA FOETIDA (OLIGOQUETOS: *LUMBRICIDAE*) PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOABONO, BOGOTÁ – COLOMBIA

USE OF EISENIA FOETIDA (OLIGOCHAETA: LUMBRICIDAE) FOR COMPOST PRODUCTION, BOGOTÁ - COLOMBIA

¹ Paola Rivera Gallegos, ² Andrea Yate-Segura

¹ Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Abierta y a Distancia. ² Ingeniero químico, Magíster en Ingeniería, Docente Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente, Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD, Investigador semillero de Investigación PIDMA

¹ ling.paolarivera17@gmail.com, ² andrea.yate@unad.edu.co

RESUMEN

Este documento está enfocado en la generación de Bioabono mediante el uso de la lombriz *Eisenia Foetida* (*Oligoquetos: Lumbricidae*), la cual, en condiciones metabólicas adecuadas, fomenta la degradación de residuos sólidos orgánicos. Este proyecto evalúa el proceso de obtención de Bioabono a partir de residuos sólidos orgánicos generados en el barrio Álamos de Bogotá, Colombia, mediante un trabajo en conjunto con la comunidad, para proyectar la cantidad de que se puede producir en este sector, en línea con las políticas nacionales que pretenden introducir la separación y aprovechamiento de residuos desde los hogares. Se logró establecer que los residuos orgánicos representan el 30 % de los residuos generados en el sector, a partir de los cuales se diseñaron tres camas de lombricultivo, con diferentes sustratos, siendo la cama con mayor proporción (60 %) de residuos de yuca y papa la que presentó mayor

rendimiento respecto al compost obtenido. El abono obtenido presentó una calidad similar en las tres camas analizadas, evidenciando un exceso de humedad respecto la solicitada en la norma NTC 5167, lo que sugiere que el producto obtenido requiere un proceso de secado antes de su comercialización.

Palabras clave: Compost, Mecanismos de desarrollo limpio, Residuos sólidos orgánicos, Sustrato, y Vermicultura.

ABSTRACT

This document is focused on the generation of compost through the use of the *Eisenia Foetida* earthworm (*Oligochaetes: Lumbricidae*), which, at suitable metabolic conditions, promote the degradation of organic solid waste. This project evaluates the process of obtaining compost from organic solid waste generated in Álamos neighborhood, Bogotá, Colombia,

through joint work with the community, in order to determine the amount of natural fertilizer that can be produced in the sector, in line with the policies of national organizations that intend to introduce the separation and use of households waste. It was established that organic waste accounts for 30 % of the waste generated in the sector, from which three worm farming beds were designed, with different substrates, the bed with the highest proportion (60 %) of cassava and potato residues being the one that produced the greater

yield respect to the compost obtained. Regarding the quality of the product, the results obtained are similar in all the beds, reaching an excess of total nitrogen with respect to that required for commercialization. The results also present excess humidity, which suggests a drying process after obtaining the compost is needed.

Keywords: Vermiculture, Soil Management, Organic Solid Waste, Substrate, Compost and Clean Development Mechanisms.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el Informe regional acerca del manejo de los residuos sólidos en América Latina y el Caribe, generado por el Banco Interamericano de Desarrollo en el año 2010, la generación per cápita de Residuos Sólidos Domésticos (RSD) llegó a 0,63kg/hab/día, mientras que la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), ascendió a 0,93kg/hab/día, lo que equivale a 295.000 toneladas de RSD y 436.000 de RSU, aproximadamente.

En el caso de Colombia, para el año 2008 se encontró que las ciudades capitales tales como Medellín, Cali, Barranquilla y Bogotá generaron un aproximado de 11.275 toneladas/día de residuos sólidos municipales, siendo aproximadamente el 41 % residuos orgánicos (Jaramillo Henao & Zapata, 2008). En el año 2015, se estimó que Bogotá generó aproximadamente 6.500 toneladas de residuos sólidos/día, distribuidos en 20 localidades, siendo la localidad de Engativá después de Kennedy, la que más residuos generó a la ciudad (Alcaldía mayor de Bogotá D.C., 2015). Aunque el manejo, la separación en la fuente y el aprovechamiento de residuos hacen parte de las políticas nacionales, no se cuenta con información actualizada de los residuos generados por las localidades,

ni barrios de Bogotá, y los habitantes aún no realizan procesos de separación y aprovechamiento de sus residuos.

En este sentido, el vermicompostaje se convierte en una opción viable por trabajar en las comunidades, ya que es un método de aprovechamiento de residuos orgánicos que consiste en el cultivo intensivo de la lombriz terrestre o la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) cuyo sustrato son los residuos orgánicos putrescibles o biodegradables, los cuales una vez transformados, pueden ser aprovechados como abono para cultivos agrícolas (Yate & Fuquene, 2017). Si bien, en términos generales el manejo de esta Lombriz es muy sencillo, requiere de condiciones ambientales de humedad, temperatura, pH, riego, aireación y alimentación óptima para su desarrollo (Cardenas, 2014; Cajas, 2009; Ferruzzi, 1986). La lombriz *Eisenia Foetida* es ideal para procesos agroforestales, pues es capaz de sintetizar los desechos orgánicos como estiércoles de los animales y vegetales sobrantes de los cultivos. Adicionalmente, su facilidad de crianza y alta reproducibilidad en condiciones óptimas la hace apropiada para procesos de vermicompostaje (Ferruzzi, 1986).

El objetivo principal de este estudio fue evaluar el proceso de vermicompostaje realizado a partir de tres sustratos procedentes de residuos sólidos orgánicos putrescibles, generados por una fracción de los habitantes pertenecientes al barrio Álamos, ubicado en la localidad de Engativá. El estudio involucra la identificación de cantidad y composición de los residuos residenciales generados, y la determinación de las posibilidades de comercialización del Bioabono obtenido.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología empleada para la generación de Bioabono a partir del uso de *Eisenia Foetida*, se basa en un diseño de tipo experimental ejecutado en cinco fases: 1) Encuesta realizada a la comunidad; 2) determinación de la cantidad de residuos generados; 3) caracterización de residuos; 4) Vermicompostaje; 5) evaluación de la calidad del Bioabono.

ZONA DE ESTUDIO

El proyecto se desarrolló en el barrio Álamos, Localidad Engativá, cerca al aeropuerto el Dorado, en la ciudad de Bogotá. Se encuentra entre las coordenadas 4°42'31" N y 74°07'11" W, con una precipitación entre 500 y 1000mm, y una temperatura promedio entre 9°C y 14°C (Murcia, 2012). El proceso de vermicompostaje se llevó a cabo dentro de una construcción totalmente protegida contra los efectos del clima o animales, y con cubierta para garantizar un proceso continuo de condensación, de tal forma que los residuos siempre estén humedecidos.

CIUDADANÍA

Para el desarrollo de este proyecto, fue necesario aplicar encuestas aleatorias a la comunidad. Estas contaron con su debido consentimiento informado e incluyeron preguntas cerradas de respuesta afirmativa o negativa y preguntas abiertas de respuesta corta, las cuales se presentan a continuación:

- ¿Sabe usted qué son los residuos orgánicos?
- ¿Conoce usted cómo se deben separar los residuos sólidos?
- ¿Actualmente, usted consume frutas, verduras y legumbres en su hogar?
- ¿Aproximadamente cuántas libras de frutas, verduras o legumbres consume durante una semana?
- ¿Qué uso le da usted a los residuos orgánicos de su hogar?
- ¿Sabe usted qué es el Bioabono?
- ¿Tiene conocimiento acerca de los planes de agricultura urbana que actualmente existen en la localidad de Engativá?
- ¿Le gustaría participar de un proyecto en el cual se le da una disposición diferente al relleno sanitario a los residuos orgánicos generados en su hogar?
- Por último, díganos qué cantidad de habitantes hay en su casa o apartamento.

Las encuestas fueron realizadas únicamente a mayores de edad, debido a su potencial interés en el tema y que, en caso de iniciar procesos de separación y recolección in situ de los residuos orgánicos generados, podrían involucrar a su núcleo familiar y tener una influencia positiva en ellos.

RESIDUOS GENERADOS

La composición de los residuos se realizó en el primer mes del proyecto empleando el método de cuarteo, el cual consistió en seleccionar aleatoriamente tres bolsas de basura de 5kg cada una, y depositar los residuos encima de un plástico para poder identificar los residuos que estaban presentes en dicha muestra, este proceso se realizó por triplicado.

VERMICOMPOSTAJE

Se clasificaron los residuos orgánicos putrescibles aptos para la generación de Bioabono. Posteriormente se determinaron los pre-tratamientos requeridos, tales como, reducción de

tamaño de partícula y premezclado de componentes según sus propiedades ácidas con el fin de reducir posibles problemas de acidez en el suelo. Después, se diseña la cama en un tanque de polietileno, de 50 galones de capacidad; inicialmente se emplea una capa de tierra negra sin abono de aproximadamente 20 cm, a continuación, se coloca, como pie de cría en las camas, una capa inicial de lombrices entre 10 y 15 cm aproximadamente, una capa delgada del sustrato de aproximadamente 4 cm; y, por último, una segunda capa de tierra de 10 cm y se humedece el sustrato.

Para generar el efecto invernadero requerido se tapa el Bioabono con un plástico de color negro, lo cual contribuye a mantener las condiciones de humedad del sustrato y las condiciones fisicoquímicas del suelo.

La frecuencia de alimentación de las lombrices es cada 8 días, en los que igualmente se realiza un volteo del material, revisando la humedad de la tierra de forma casera, a través del método de las 10 gotas de agua; además, se mide la temperatura empleando un termómetro digital de punzón para alimentos 0131 capaz de controlar -50°C $+300^{\circ}\text{C}$, con un margen de error de $\pm 1^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{F}$. El pH se mide empleando tiras indicadoras marca Macherey Nagel, capaces de indicar el pH en un rango de 0-14 unidades, con lo cual se verifica el estado de maduración del Bioabono. La revisión y volteo del lombricultivo se realiza con una frecuencia de aproximadamente dos meses.

Comportamiento poblacional: para calcular el crecimiento poblacional de cada una de las camas diseñadas, se sigue la ecuación 1, a fin de establecer si los residuos empleados afectan de alguna forma el crecimiento de las lombrices.

$$P(t) = P(t_0) \times 2^{t/90} \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

$P(t)$ = Población total

$P(t_0)$ = Población inicial

$t/90$ = tiempo empleado en días sobre la producción de nuevas lombrices.

La ecuación 2 permite establecer el promedio de lombrices presentes en el lombricultivo

$$\text{kg humus} * \left(\frac{\text{Número de lombrices}}{1 \text{ kg humus}} \right) = \text{Promedio de lombrices/kg} \quad \text{Ec.2}$$

Rendimiento del lombricultivo: se determina mediante un balance másico siguiendo la ecuación 3.

$$\% \text{ rendimiento del lombricultivo} = \left(\frac{\text{Producto final kg}}{\text{materia prima inicial kg}} * 100 \right) \quad \text{Ec.3}$$

RECOLECCIÓN DEL BIOABONO

Visualmente se evidencia la formación de Bioabono en las camas, por lo que estas se cubren con una lona sobre el sustrato y se colocan más residuos orgánicos putrescibles. De esta forma se logra que las lombrices suban hasta ese nivel, facilitando la recolección de estas, y permitiendo extraer el Bioabono, sin que este contenga lombrices en su interior. Finalmente, el Bioabono se recoge, se retiran las partes sólidas y se tamizan las muestras para su posterior caracterización.

EVALUACIÓN DEL BIOABONO

Durante esta fase se realiza una serie de análisis fisicoquímicos al Bioabono para contrastarlos con la Norma Técnica Colombiana NTC 5167 de 2004, establecida por el ICA, para la comercialización de Bioabono en el Territorio Nacional (ICONTEC, 2004).

MÉTODOS ANALÍTICOS

Para determinar la calidad del Bioabono, fue necesario realizar la medición de los siguientes análisis:

- pH: la medición del pH se realizó empleando un potenciómetro HANNA Instruments, medidor de pH, empleando buffer de 4 y 7, siguiendo el procedimiento descrito en el método ASTM D4972-01 (2007).
- Contenido de humedad: el contenido de humedad del abono se midió en un horno marca Furnace 48000 (Barnstead International, Estados Unidos), capaz de controlar $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, de acuerdo con el procedimiento establecido en el Standar method ASTM D 2216-10.
- Temperatura: la temperatura del abono en el laboratorio se midió, con un equipo multiparámetro marca Hanna Instruments 211 (Estados Unidos), con un nivel de precisión de $\pm 1^{\circ}\text{C}$.
- Densidad Aparente: el contenido de densidad aparente del abono se calculó siguiendo el método de excavación definido por (García, 2011), siguiendo la ecuación 4.

$$Dap = \frac{\text{Peso de suelo seco (gramos)}}{\text{Volumen total (cm}^3\text{)}} \quad \text{Ec.4}$$

- Conductividad Eléctrica: la conductividad eléctrica se determinó empleando un equipo multiparámetro marca Hanna Instruments 211 (Estados Unidos) con un nivel de precisión de ± 1 (20°), siguiendo el procedimiento descrito en la norma NOM-021-RECNAT-2000, para determinación de conductividad eléctrica en suelos.
- Determinación de textura por sedimentación:

se realiza siguiendo el procedimiento establecido por (García, 2011) empleando un diagrama triangular de suelos.

- Determinación de Nitrógeno Total: el método empleado fue SM4500NorgC SM4500NH3-C, realizado por el laboratorio CIAN LTDA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

RESIDUOS GENERADOS

La Figura 1 presenta los resultados promedio obtenidos a partir del método de cuarteo, donde se establece que el porcentaje más alto de residuos en general corresponde a los plásticos, contaminados o no contaminados, alcanzando un 45 %. Seguido de estos se encuentran los residuos orgánicos con un 30 %, los residuos de papel sanitario con un 12 % y finalmente un 13 % de los residuos de papel que involucran periódicos y revistas.

Entre los principales residuos orgánicos putrescibles que se identificaron fueron residuos de frutas, tales como, guayaba (*Psidium guajava*), naranja (*Citrus aurantium L.*), feijoa (*Acca sellowiana*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y maracuyá (*passiflora edulis*). También se encontraron residuos de verduras, cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*), cáscaras de plátano (*Musa balbisiana*), aguacate (*persea americana*), tomate (*solanum lycopersicum*), entre otros.

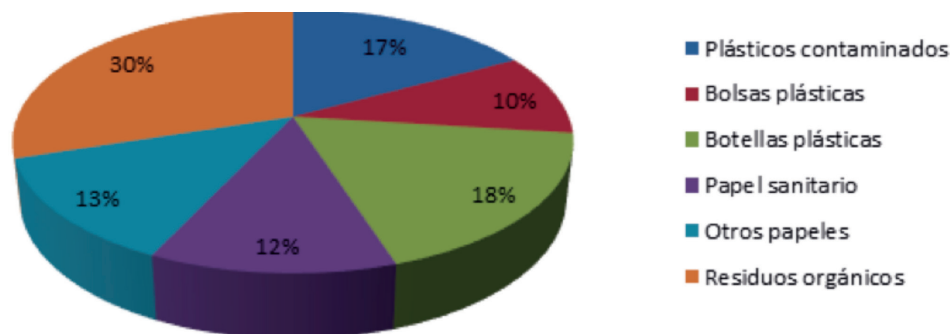


Figura 1. Residuos domiciliarios.

Fuente: Autores

LOMBRICULTIVO

Posterior a la siembra de las lombrices, y considerando la cantidad de residuos de cáscara de naranja generados en el sector, se adicionaron a la cama 6kg de estas para su descomposición. Sin embargo, los ácidos presentes en la descomposición de la naranja, hacen que el pH se aumente a 9,5 unidades, generando un exceso de lixiviados, lo cual altera el porcentaje de humedad y hace que la mayoría de lombrices mueran, quedando 12 lombrices con las que se realiza nuevamente inoculación, utilizando tierra negra, y cáscaras de papa y de yuca como sustrato, con el fin de garantizar un medio de cultivo neutro, y sin la presencia de ácidos o de lixiviados.

De acuerdo a lo indicado por Taco (2010), las sustancias ácidas como la naranja y el limón producen una liberación de bases y un alto contenido de amoníaco debido a la descomposición natural de los ácidos orgánicos, lo que aumenta el pH. En este sentido, es posible resaltar que los residuos cítricos, como los de la pulpa de naranja, en altas proporciones, cuentan con un pH inicial de 2 a 2.5 unidades, que no permite el desarrollo de las lombrices sino hasta 2 o 3 semanas después de su adaptación

al medio, momento en que el pH es naturalmente regulado. Desde un enfoque práctico, para el uso de estas sustancias en vermicompostaje se aconseja realizar un pre-compost antes de agregar el material al espacio donde están ubicadas las lombrices (Taco, 2010).

Para la creación del pie de cría - cama 1, 60 % de residuos de papa y yuca y 40 % de residuos de verduras, tales como; arveja (*Pisum sativum*), zanahoria (*Daucus carota*), tomate (*Solanum lycopersicum*), y espinaca (*Spinacia oleracea*) se usaron como sustrato. Con este sustrato hay un aumento en la población de lombrices, lo que permite generar dos camas adicionales; la cama 2, tiene como sustrato un 20 % de residuos de frutas (como tomate de árbol (*Solanum betaceum*), papaya (*Ciraca papaya*), guayaba (*Psidium guajava*), banano (*Musa balbisiana*), mango (*Mangifera indica*)), 40 % residuos de verduras, y 40 % de residuos de papa (*Solanum tuberosum*); mientras que la cama 3 tuvo como sustrato 100 % de cáscaras de plátano (*Musa balbisiana*), dichos residuos se emplearon debido a que, según el cuarteo, son los más generados en el sector. En las Figuras 2 y 3 se presentan las camas.



Figura 2. Pie de cría-Cama 1.

Fuente de: Autores



Figura 3. Camas 2 y 3.

Fuente de: Autores

CALIDAD DEL BIOABONO

En la Tabla 1 se presentan los resultados de calidad del abono junto con los parámetros establecidos en la norma NTC 5167 del 2004 que establece las condiciones fisicoquímicas que debe tener un Bioabono según el ICA, para poder ser comercializado. En esta se observa que las tres camas generadas presentan pH neutros, mientras que la humedad reportada en todas las camas es superior a la requerida en la norma. Es decir que es necesario generar un proceso de secado previamente para su comercialización.

La densidad aparente refleja la porosidad total en un suelo y es importante para el manejo de estos mismos; además, la densidad aparente refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire. Es decir, cuanto mayor sea la densidad, menor el espacio poroso para el movimiento del agua, crecimiento y penetración de raíces, y el desarrollo de las plantas (Observatorio Nacional de la Degradación de Tierras y Desertificación, 2014); De acuerdo con esta información se concluye que la densidad aparente de las camas 1 y 3, es la adecuada ya que los valores se encuentran dentro de los rangos establecidos.

Por otra parte, en la cama 2 se supera el valor requerido debido, principalmente, a la presencia de frutas con alto contenido de humedad, lo cual altera el nivel de porosidad del suelo. Si bien la conductividad eléctrica no cuenta con un valor específico en la norma, es importante, considerando que esta permite establecer si el abono obtenido es salino o no, y las implicaciones que tendría en la siembra.

Al igual que la conductividad eléctrica, la norma solicita que valores por encima de 1 % del nitrógeno total sean reportados. En este caso, todas las camas superan este valor debido a la presencia de fluorescencia en la clorofila, como resultado de la interacción ozono- nitrógeno. (Sánchez, 2014)

Finalmente, es posible establecer que la cama 1 es la que presenta mayor rendimiento del lombricultivo; por su parte, la cama 3 también presenta un alto porcentaje de rendimiento del lombricultivo, debido a la alta concentración de glucosa presente en las cáscaras de plátano y banano.

Tabla 1. Resultados de laboratorio y comparación con la norma

Parámetro	Unidad	Cama 1	Cama 2	Cama 3	NTC 5167
PH	Unidades	7,18 ± 0,06	7,37 ± 0,02	7,51± 0,05	4,0 - 9,0
Temperatura	°C	20,00	20,00	20,00	-
Humedad	%	64,5 ± 6,56	78,8 ± 2,02	54,5± 2,02	35 % Max
Textura	-	Franco-arenoso	Franco-arenoso	Franco-arenoso	-
Densidad	gr/cm ³	0,60	0,79	0,54	0,6
C.E	milimhos/cm	2,77	3,43	2,77	Reportar
Nitrógeno Total ¹	%	2,60	2,00	1,80	Reportar si > 1 %
Materia prima	Kg	0,2	2,0	2,0	-
Producto final	Kg	8	6,64	11,68	-
Rendimiento del lombricultivo	%/mes	285 %	30.18 %	53.09 %	-

NTC 5167 = Norma Técnica Colombiana 5167

La Tabla 2 presenta los resultados del comportamiento poblacional de las lombrices para las tres camas trabajadas después de un año de estudio. A partir de esta se concluye que el pie de cría inicial, después de ser estabilizado empleando residuos con alto contenido de glucosa, tuvo un aumento poblacional de 12 lombrices a 304 lombrices, aproximadamente. También demuestra que las condiciones físicas

en las cuales están ubicadas las lombrices son las adecuadas, por ello se facilita su desarrollo. Con respecto a la cama 2 y 3, estas solo alcanzaron la mitad del aumento poblacional de la cama 1, lo cual es esperado dado que, aunque las lombrices ya estaban inoculadas y estaban preparadas para otro tipo de sustrato, su aceptación al medio no es tan alta como con la glucosa.

Tabla 2. Comportamiento poblacional del lombricultivo

Cama	Población inicial	Población Total	Promedio lombrices / kg / mes	Incremento poblacional
Cama 1.	12	304	33,71	26,33 veces
Cama 2.	20	254	43,09	12,70 veces
Cama 3.	35	444	75,36	12,68 veces

¹ Según reporte de resultados del laboratorio CIAN LTDA, No. 000803.

CONCLUSIONES

Aproximadamente el 30 % de los residuos que se generan al interior de un hogar corresponde a residuos de origen orgánico putrescible. En el barrio Álamos, en promedio se pueden generar 355kg de estos residuos sólidos, de los cuales se pueden aprovechar aproximadamente 106,5kg, que corresponden a residuos sólidos orgánicos putrescibles. Lo anterior, sin tener en cuenta que los residuos de plásticos y de papel pueden llegar igualmente a ser llevados a procesos de reciclaje.

Si bien este trabajo evaluó tres sustratos diferentes, incorporando residuos de frutas y verduras, es posible establecer la afinidad de las lombrices rojas californianas a la glucosa, alcanzando rendimientos máximos de 285 % mensual para la cama 1 que contenía un 60 % de residuos de papa y yuca. Esta afinidad se refleja igualmente en el crecimiento poblacional encontrado.

Esta investigación también permite establecer la importancia del tipo de sustrato, dado que las camas 2 y 3 presentan un rendimiento considerablemente bajo, 31,08 % y 53,09 %, respectivamente, con relación a la cama 1. Lo que sugiere que los sustratos empleados afectan directamente el rendimiento del cultivo y el crecimiento poblacional.

Por otro lado, aunque la caracterización presentó algunas variaciones en cuanto al contenido de nitrógeno total y la humedad, son parámetros que pueden ser mejorados con tratamientos previos a su comercialización.

Finalmente, es posible concluir que este tipo de iniciativas requieren de la participación activa de la comunidad, no solo porque es imperante manejar adecuadamente la separación en la fuente, sino que además de desear

comercializar el abono son necesarios altos volúmenes de residuos, lo cual requeriría de la participación de por lo menos el 50 % de los habitantes de Álamos.

AGRADECIMIENTOS

Queremos hacer un reconocimiento especial a la comunidad del barrio Álamos por su contribución sustancial con el trabajo presentado.

LITERATURA CITADA

- Alcaldía mayor de Bogotá D.C. (2015). *Secretaría general de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.* Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=62903>
- Cajas, S. (2009). *Efecto de la utilización de aserrín en combinación con bovino, como sustrato en la producción de humus de lombriz eisenia foetida*. Escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Cardenas, B. E. (2014). Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos, a través de metodologías de compostaje y lombricultura. *Universidad Nacional de Colombia y Alcaldía Mayor de Bogotá* Bogotá, Colombia.
- Ferruzzi, C. (1986). *Manual de lombricultura*. España, Mundi:Prensa.
- García, I. A. (2011). Determinación de textura por sedimentación. En *Manual de prácticas de Edafología* (págs. 28-31). Chiapas, México.
- ICONTEC. (2004). NTC 5167 de 2004. *Productos para la industria agrícola, productos orgánicos usados como abono, o fertilizantes y enmiendas de suelos*. Bogotá, Colombia.
- Jaramillo H., G., & Zapata, L. (2008). Aprovechamiento de los residuos orgánicos en Colombia. *Universida de Antioquia*. Recuperado de <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUen-Colombia.pdf>
- Murcia, J. F. (2012). Escenarios de cambio climático. *Revista técnica IDEAM*, 18-30.
- Observatorio Nacional de la Degradación de Tierras y Desertificación. (2014). Recuperado de <http://www.desertificacion.gob.ar/indicadores/suelo-da/>

Sánchez, A. M. (2014). Efectos del ozono y su interacción con el Nitrogeno en seis variedades de hortalizas. Universidad de Valencia, Facultad de ciencias biológicas, 1-73.

Taco, J. C. (2010). *Análisis de lombricompuestos a partir de diferentes sustratos*. Codazzi, Cesar.

Yate, A., & Fuquene, D. (2017). Vermicompostaje en el manejo de los residuos sólidos urbanos. Working paper, *Recuperado de* <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/workpaper/article/view/1816/2023>

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.

DIVERSIDAD DE ARTRÓPODOS EN TRES SISTEMAS DE MANEJO AGRONÓMICO DE CAFÉ EN EL MUNICIPIO DE LÍBANO, TOLIMA, COLOMBIA

DIVERSITY OF ARTHROPODS IN THREE SYSTEMS OF AGRONOMIC MANAGEMENT OF COFFEE IN THE MUNICIPALITY OF LÍBANO, TOLIMA, IN COLOMBIA

¹ **Mauricio García Arboleda**

² **Nancy Barrera Marín**

¹ PhD en Agroecología, Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira (Valle), Colombia.

Docente T.C.O Universidad de Cundinamarca, Grupo de Investigación DOPyS Desarrollo

Organizacional Prospectivo y Sostenible.

² Bióloga. M.Sc. Ph.D en Ciencias Biológicas Profesora Asociada. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira

¹ mauriciogarcia@ucundinamarca.edu.co

² nbarrera2@yahoo.com

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue recolectar, codificar e identificar taxonómicamente los individuos artrópodos, hallados en 45 muestras de tres fincas, bajo el cultivo de café, sembradas en sistema orgánico, convencional o mixto, en el municipio del Líbano (Tolima, Colombia), durante el año 2014, en una investigación sobre la exergia. Se obtuvo que los artrópodos de la muestra de suelo (incluyendo el mantillo y la hojarasca superficial) de la finca convencional (Tipo I) presentan mayor índice de diversidad que la finca orgánica y esta última mayor índice que la finca mixta. A pesar de ello, la finca orgánica presenta una mayor población de artrópodos que duplica las poblaciones de la finca convencional y quintuplican

las de la finca mixta. Esto demuestra la alta interacción entre los artrópodos, y la dinámica de la materia orgánica, en el rol de transformación de macromoléculas lignocelulíticas y de residuo diversidad, hacia formas más mineralizadas y en busca de la relación C/N estándar de la naturaleza.

Palabras clave: Biomasa, Convencional, Diversidad, Índices, Mixta, Orgánico, Transecto.

ABSTRACT

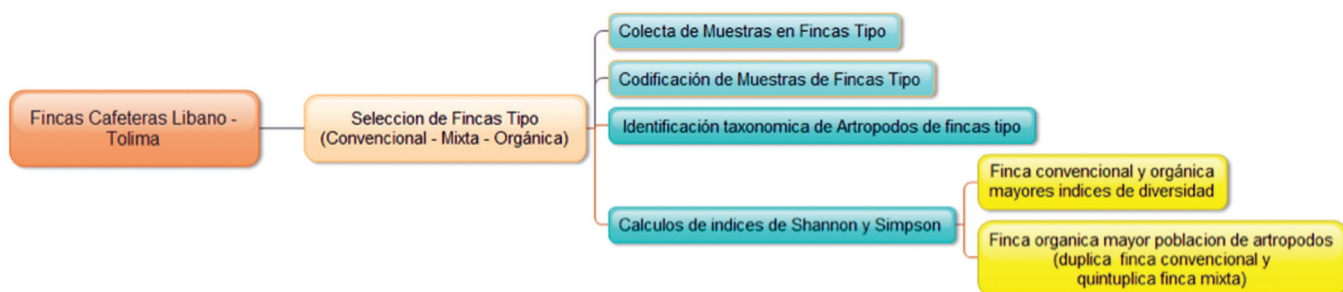
The purpose of this research was to collect, codify and taxonomically identify the arthropod individuals found in 45 samples of three farms, under coffee cultivation, planted in

organic, conventional and mixed system, in the municipality of Líbano (Tolima, Colombia) during 2014, in an investigation on the exergy. It was obtained that soil arthropods (including mulch and surface leaf litter) of the conventional farm (Type I) had a higher index of diversity than the organic farm and the latter had a higher index than the mixed farm. In spite of this, the organic farm has a greater population of arthropods that double the populations of

conventional farms and five times those of the mixed farm, which demonstrates the high interaction between arthropods and the dynamics of organic matter, in the role of transformation of lignocelulitic macromolecules and diversity residue, towards more mineralized forms and in search of the standard C / N ratio of nature.

Keywords: Biomass, Conventional, diversity, indexes, Mixed, organic, transect.

Resumen Grafico: Diversidad de Artrópodos en tres sistemas de manejo agronómico de café en el Municipio de Líbano – Colombia.



INTRODUCCIÓN

Este artículo se fundamenta en la evaluación de la diversidad de artrópodos en la zona cafetera de Colombia, Municipio del Líbano (Tolima) en tres diseños de producción de café con manejos agronómicos diferentes, y diferente estructura de agrobiodiversidad, en donde se realizó el cálculo de Índices de Diversidad aplicado a dichas poblaciones de Artrópodos (García A, 2016) en el marco de una herramienta de Termodinámica denominada Análisis Exergoecológico (Szargut, Valero, Stanek, & Valero, 2005)

En gran parte de las comunidades de pequeños campesinos cafeteros, la racionalidad de intervención del agroecosistema es inherente a su acervo cultural, por lo tanto, las tecnologías externas y la memoria biocultural convergen

en la administración del territorio, generando diferentes matices y patrones de intervención que, dependiendo su grado de intensificación, pueden emerger en propuestas integrales de habitación armónica con el entorno cafetero (García, 2011). La intensificación de prácticas culturales autóctonas les facilita a los pequeños agricultores fortalecer sus sistemas de producción mejorando así la sustentabilidad (Giraldo, Nieto, Quiceno & Sanclemente, 2018). Es decir, las tecnologías aplicadas en los sistemas productivos influyen notoriamente en la diversidad de los diferentes actores y composición de los agroecosistemas. Estas diferencias podrían deberse a la heterogeneidad heredada de la misma génesis del suelo, como a los cambios generados por el uso de diferentes tecnologías para la producción agrícola, en cada sistema de cultivo (Sanclemente,

Yacumal, & Patiño, 2017). Desde otras perspectivas, el estudio de la variabilidad espacial es el principal insumo para el manejo específico por sitio, con el fin de optimizar los recursos, al reducir los costos de producción de los cultivos y el impacto negativo sobre el ambiente (Lince & Sadeghian, 2016)

Para Zhang (2011), según un informe estadístico, los artrópodos representan el 90 % de las especies mundiales, citando a Pimental *et al.*, (1992). En las praderas templadas, los artrópodos poseen una enorme biomasa (1.000 kg/ha), seguido de las plantas (20.000 kg/ha) y los microorganismos (7.000 kg/ha), los cuales son mucho más altos que la de los mamíferos (1,2 kg/ha), las aves (0,3 kg/ha), y los nematodos (120 kg/ha), (Pimental *et al.*, 1992; Chen y Ma, 2001). Los artrópodos gobiernan las estructuras y funciones de los ecosistemas naturales, pero siempre son ignorados por los investigadores, (Wilson, 1987,). (Zhang, 2011).

Ahora como considera Nicholls (2008), citando a Altieri (2004):

La diversidad de artrópodos se correlaciona con la diversidad vegetal en agroecosistemas. En general una mayor diversidad de plantas implica una mayor diversidad de herbívoros, y esto a su vez determina una mayor diversidad de depredadores y parásitos, lo que resulta en cadenas tróficas complejas. Una biodiversidad total mayor puede asegurar la optimización de procesos ecológicos claves y el funcionamiento de los agroecosistemas (Nicholls, 2008, pág. 180).

Un gran número de estudios, se han dedicado a encontrar la relación entre la diversidad de artrópodos y la composición de las plantas. Se ha concluido que las arvenses influyen en la diversidad de insectos dentro de un sistema

cultivo – arvenses – insectos, (Altieri y Letourneau, 1984), Altieri (1994), Altieri (1995).

Según Szentriralyi y Kozar (1991), Sheng *et al.*, (1997) (en Zhang, 2011, pág. 38), una comunidad con la más compleja composición de especies de plantas contendrá la mayor diversidad de insectos. Algunos estudios forestales describen como significativa la relación entre la comunidad de plantas y la comunidad de insectos, según Dong *et al.*, (2005), Jia *et al.*, (2006), (en Zhang, 2011, pág. 38).

Sin embargo, existe una correlación positiva entre la comunidad de plantas y la de insectos depredadores y parásitos, y, por el contrario, una correlación negativa entre la comunidad de plantas frente a la comunidad de insectos defoliadores, según Dong *et al.*, (2005). La población de artrópodos dominantes en las tierras cultivadas está regulada negativamente por la diversidad de la vegetación, pero una regulación positiva pudiera ocurrir en algunos casos, según Andow (1991), (en Zhang, 2011, pág. 38).

Muchas evidencias han revelado, que las relaciones entre los artrópodos y la composición vegetal son más complejas que significativas; los mecanismos que producen estas relaciones, no pueden ser explicados claramente, y estas son, generalmente, relaciones de forma no lineal, según Schultz y Wieland (1997) y Pastor - Bárcenas *et al.*, (2005), (en Zhang, 2011, pág. 38).

Para lo anterior, Zhang (2011), ha propuesto evaluar el modelo de redes neuronales artificiales (ANN) frente al modelo análisis multivariado (MAM) y al modelo de respuesta de superficie (RSM), en búsqueda de explicar la función no lineal de las relaciones entre la abundancia de artrópodos y la composición vegetal en las praderas.

Zhang (2011), explica que las ANN, son funciones de aproximadores universales de relaciones no lineales, según Acharya *et al.*, (2006), Bianconi *et al.*, (2010), Nour *et al.*, (2006), Zhang y Barrion (2006), y Zhang *et al.*, (2007), (en Zhang, 2011, pág. 38); las ANN, podrían ofrecer ventajas como modelos más simplificados y automatizados, respecto a modelos de síntesis y analíticos, tipo insumo – producto (*input-output*), según Abdel – Aal (2004) y Tan *et al.*, (2006); este modelo ANN, es considerado ser más eficaz en predicción de series de tiempo, que procedimientos previos basados en la teoría de los sistemas dinámicos, según Ballester *et al.*, (2002), (en Zhang, 2011, pág. 38).

En su estudio, el autor concluyó que la abundancia de artrópodos en las praderas, está gobernada por el tipo de familias de plantas y por sus grados de cobertura (composición de la planta); el modelo de redes neuronales artificiales, fue superior al modelo multivariado de regresión y al modelo de respuesta de superficie, en el modelado de la abundancia de artrópodos y de la composición vegetal. (Zhang, 2011, pág. 45).

El método utilizado en esta investigación consistió en el diseño de transectos para cada finca Tipo en donde se realizó la colecta de muestras, captura de individuos de artrópodos (mediante la metodología del embudo Berlesse) y la posterior caracterización, conteo y cálculo de índices de diversidad.

Como resultado de esta investigación se evidencia el efecto que tienen los tres tipos de manejo agronómico sobre la diversidad y poblaciones de los artrópodos, encontrando que la finca Tipo I (Convencional) presenta los mejores índices de diversidad de artrópodos, seguida de la Finca Tipo II (Orgánica) y por último la Finca Tipo III (Mixta), las

poblaciones de artrópodos en la Finca Orgánica duplican la Finca Convencional y quintuplican la Finca Mixta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Dentro de la evaluación de la exergia para tres sistemas de producción de café (Convencional Tipo I, Orgánica Tipo II y Mixto Tipo III), en tres fincas de la vereda la Marcada del municipio del Líbano (Tolima- Colombia), en 2014, la toma de individuos de artrópodos, se realizó mediante cuadrante de madera de un metro cuadrado, el cual fue aleatoriamente lanzado tres veces dentro de cada uno de los cinco transectos correspondientes a cada finca evaluada, denominada finca Tipo (Alvarez, y otros, 2006). Los individuos fueron colectados, clasificados, codificados e identificados taxonómicamente en el Laboratorio de entomología de la Universidad del Tolima, mediante la metodología del embudo Berlesse.

La selección de las fincas se basó en los siguientes criterios: **Finca Convencional**, para el caso del estudio es denominada **Finca Tipo I**, y está caracterizada por estar diseñada en Monocultivo de café, el manejo convencional del sistema productivo, la aplicación de fertilizantes y plaguicidas químicos de síntesis y no tiene en el diseño, especies vegetales asociadas al cultivo; **Finca Orgánica**, para el caso del estudio es denominada **Finca Tipo II**, y está caracterizada por estar diseñada en Policultivo y/o Asociaciones de café, el manejo ecológico del sistema productivo, la aplicación de Abonos Orgánicos, caldos minerales, Inoculantes microbiales, Hongos antagonistas, control biológicos y arreglos alelopáticos y simbióticos. Por lo anterior este sistema en su diseño tiene varias especies vegetales asociadas al cultivo del café; y **Finca Mixta**, para el caso del estudio es denominada **Finca Tipo III**, y está caracterizada por estar diseñada

en arreglos Plátano – Café, o Café – Aguacate, el manejo limpio del sistema productivo, la aplicación racional de fertilizantes y

plaguicidas químicos de síntesis y este sistema en su diseño tiene una o dos especies vegetales asociadas al cultivo del café.

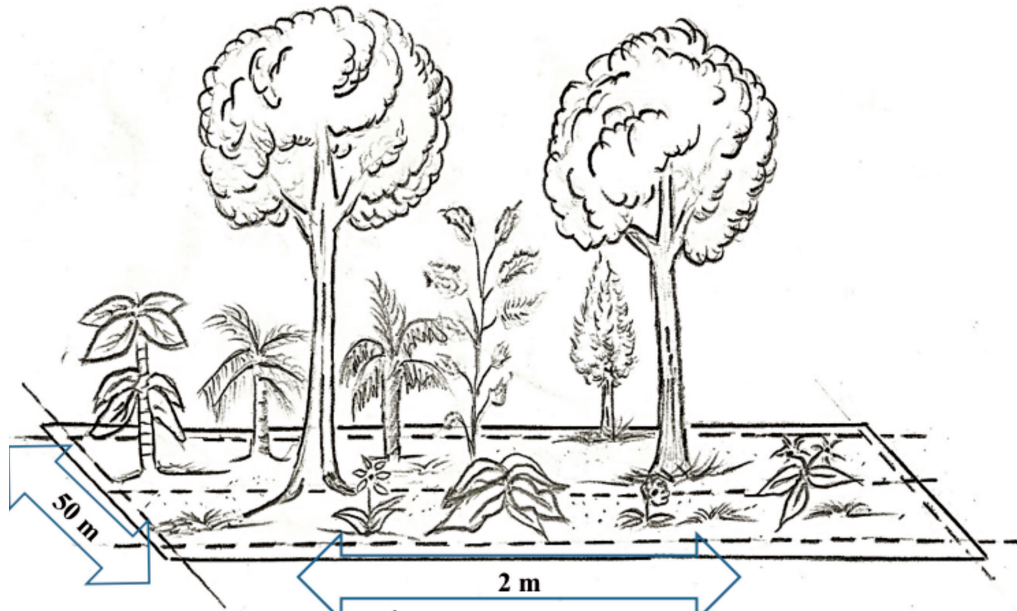


Figura 1. Esquema de transecto para las fincas tipo.

Fuente: Autor

Para este componente de la biomasa de los sistemas evaluados, se recurrió también a los indicadores de diversidad, por transectos: 1) Clasificación de especies en el transecto; y, 2) índices de diversidad de especies:

$$\text{Shannon: } H' = \sum_{i=1}^s (P_i)(\ln P_i) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde n_i = número de individuos en el sistema o muestra que pertenecen a la especie "i" y N = número de individuos.

$$\text{Simpson: } \lambda = \sum_{i=1}^s \frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde n_i = número de individuos en el sistema o muestra que pertenecen a la especie "i" y N = número de individuos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las siguientes tablas se puede observar los datos de taxonomía y conteo en campo, así como los índices de Shannon y Simpson, que estuvieron para el índice de Shannon cercano a dos (2) y para Simpson por encima del 0,5.

Calculo de Índice de Shannon y Simpson.

Índice Finca Tipo I – Convencional:

Tabla 1. Listado de especies y cálculos índices Shannon y Simpson, Finca Tipo I (Convencional).

Phyllum	Clase	Orden	Familia	n		Pi * LN Pi	n*(n-1)
ANNELIDA	Oligochaeta			1	3	-0,03140492	6
ARTHROPODA	Arachnida – Subclase Acari			2	100	-0,32531655	9900
ARTHROPODA	Arachnida	Araneae		3	3	-0,03140492	6
ARTHROPODA Subphyllum – MYRIAPODA	Chilopoda (N.V cien- piés)			4	2	-0,02260519	2
ARTHROPODA Subphyllum – MYRIAPODA	Diplopoda	Julida	Nemasomati- dae	5	10	-0,07990995	90
ARTHROPODA Subphyllum – MyRIAPODA	Diplopoda	Polidesmida (N.V mil pies con Caparazón)		6	1	-0,01272882	0
ARTHROPODA Subphyllum – MYRIAPODA	Diplopoda	Polixenida (N.V mil pies con pelos urticantes)		7	6	-0,05425246	30
ARTHROPODA	Symphyla			8	19	-0,12673585	342
ARTHROPODA Subphyllum -HEXAPODA	Entognatha	Collembola	Entomobriidae	9	87	-0,30795503	7482
ARTHROPODA Subphyllum -HEXAPODA	Entognatha	Collembola	Isotomidae	10	16	-0,11238255	240
ARTHROPODA Subphyllum -HEXAPODA	Entognatha	Collembola	Poduridae	11	11	-0,08574372	110
ARTHROPODA Subphyllum -HEXAPODA	Entognatha	Collembola	sminthuridae	12	2	-0,02260519	2
ARTHROPODA Subphyllum -HEXAPODA	Entognatha	Collembola	NI	13	1	-0,01272882	0
ARTHROPODA Subphyllum -HEXAPODA	Entognatha	Diplura	japigydae	14	13	-0,09686496	156
ARTHROPODA	INSECTA	SUBORDEN Machiloidea =Mi- crocorophia		15	11	-0,08574372	110
ARTHROPODA	INSECTA	Dermaptera		16	1	-0,01272882	0

Continuación tabla 1

Phyllum	Clase	Orden	Familia		n	Pi * LN Pi	n*(n-1)
ARTHROPODA	INSECTA	Blattodea	Blattidae	17	1	-0,01272882	0
ARTHROPODA	INSECTA	Hemiptera	Cydnidae	18	3	-0,03140492	6
ARTHROPODA	INSECTA	Hemiptera	Gelastocoridae	19	3	-0,03140492	6
ARTHROPODA	INSECTA	Hemiptera	Pentatomidae	20	1	-0,01272882	0
ARTHROPODA	INSECTA	Hemiptera	NI	21	1	-0,01272882	0
ARTHROPODA	INSECTA	Hemiptera	Miridae	22	1	-0,01272882	0
ARTHROPODA	INSECTA	Psocoptera		23	2	-0,02260519	2
ARTHROPODA	INSECTA	Coleoptera	Nitidulidae	24	1	-0,01272882	0
ARTHROPODA	INSECTA	Coleoptera	Ptilidae	25	1	-0,01272882	0
ARTHROPODA	INSECTA	Coleoptera	Scolitidae	26	1	-0,01272882	0
ARTHROPODA	INSECTA	Coleoptera	Scydmaenidae	27	3	-0,03140492	6
ARTHROPODA	INSECTA	Coleoptera	Staphilinidae	28	13	-0,09686496	156
ARTHROPODA	INSECTA	Coleoptera	NI	29	2	-0,02260519	2
ARTHROPODA	INSECTA	Hymenoptera	Formicidae	30	152	-0,36352648	22952
ARTHROPODA	INSECTA	Lepidoptera	NI (Polilla pequeña)	31	1	-0,01272882	0
ARTHROPODA	INSECTA	Diptera	Cecydomidae	32	4	-0,03950547	12
ARTHROPODA	INSECTA	Diptera	Phoridae	33	2	-0,02260519	2
ARTHROPODA	INSECTA	Díptera	Psychodidae	34	1	-0,01272882	0
ARTHROPODA	INSECTA	Diptera	NI (moscas, zancudos)	35	7	-0,06107426	42
TOTALES					486	2,25867238	41662

Índice de Shannon	Índice de Simpson
H = 2,258	D = (Sum n(n-1)) / (N (N-1))
Hmax = LN (35) = 3,555	D = 41662 / (486 (486 -1))
Uniformidad = H / Hmax = (2,258) / (3,555) = 0,63	D = 41662 / 235710
Uniformidad = 0,63	D = 0,18
Índice de Diversidad de Shannon = 2,258	Índice de diversidad de Simpson = 1 -D
	Índice de diversidad de Simpson = 0,82

Índice Finca Tipo II – Orgánica:

Tabla 2. Listado de especies y cálculos índices Shannon y Simpson, Finca Tipo II (Orgánica).

Phyllum	Clase	Orden	Familia	n	Pi * LN Pi	n*(n-1)	
ANNELIDA	Oligochaeta			1	1	-0,00382873	0
ARTHROPODA	Arachnida – Subclase Acari			2	270	-0,27149013	72630
ARTHROPODA Subphyllum - MYRIAPODA	Chilopoda (N.V cienpiés)			3	16	-0,03888877	240
ARTHROPODA Subphyllum - MYRIAPODA	Diplopoda	Julida	Nemasomatidae	4	16	-0,03888877	240
ARTHROPODA Subphyllum – MyRIAPODA	Diplopoda	Polidesmida (N.V mil pies con Caparazón)		5	34	-0,06971467	1122
ARTHROPODA Subphyllum – MYRIAPODA	Diplopoda	Polixenida (N.V mil pies con pelos urticantes)		6	8	-0,02224074	56
ARTHROPODA Subphyllum – CRUSTACEA	Malacostraca	Isopoda		7	36	-0,07277786	1260
ARTHROPODA	Symphyla			8	73	-0,12155279	5256
ARTHROPODA Subphyllum -HEXAPODA	Entognatha	Collembola	Entomobriidae	9	153	-0,19766768	23256
ARTHROPODA Subphyllum -HEXAPODA	Entognatha	Collembola	Isotomidae	10	138	-0,18546925	18906
ARTHROPODA Subphyllum -HEXAPODA	Entognatha	Diplura	Campodeidae	11	2	-0,00695837	2
ARTHROPODA Subphyllum -HEXAPODA	Entognatha	Diplura	japigydae	12	45	-0,08590855	1980
ARTHROPODA	INSECTA	SUBORDEN Machiloidea =Mi- croscoryphia		13	14	-0,03497041	182
ARTHROPODA	INSECTA	Hemiptera	Cydnidae	14	17	-0,0407996	272
ARTHROPODA	INSECTA	Hemiptera	NI	15	2	-0,00695837	2
ARTHROPODA	INSECTA	Hemiptera	Miridae	16	1	-0,00382873	0
ARTHROPODA	INSECTA	Hemiptera	Pseudococcidae	17	3	-0,00982414	6

Continuación tabla 2

Phyllum	Clase	Orden	Familia	n	Pi * LN Pi	n*(n-1)	
ARTHROPODA	INSECTA	Coleoptera	Ptilidae	18	8	-0,02224074	56
ARTHROPODA	INSECTA	Coleoptera	Scarabaeidae	19	6	-0,017551	30
ARTHROPODA	INSECTA	Coleoptera	scydmaenidae	20	4	-0,01251855	12
ARTHROPODA	INSECTA	Coleoptera	Staphilinidae	21	10	-0,02667565	90
ARTHROPODA	INSECTA	Coleoptera	Tenebrionidae	22	1	-0,00382873	0
ARTHROPODA	INSECTA	Coleoptera	NI	23	1	-0,00382873	0
ARTHROPODA	INSECTA	Hymenoptera	Formicidae	24	1099	-0,32710085	1206702
ARTHROPODA	INSECTA	Diptera	Drosophilidae	25	2	-0,00695837	2
ARTHROPODA	INSECTA	Diptera	Muscidae	26	1	-0,00382873	0
ARTHROPODA	INSECTA	Diptera	Psychodidae	27	1	-0,00382873	0
ARTHROPODA	INSECTA	Diptera	NI (moscas, zancudos)	28	21	-0,04816173	420
TOTALES					1983	-1,68828936	1332722

Índice de Shannon	Índice de Simpson
H = 1,688	D = (Sum n(n-1)) / (N (N-1))
Hmax = LN (28) = 3,332	D = 1332722 / (1983 (1983-1))
Uniformidad = H / Hmax = (1,688) / (3,332) = 0,51	D = 1332722 / 3930306
Uniformidad = 0,51	D = 0,339
Índice de Diversidad de Shannon = 1,688	Índice de diversidad de Simpson = 1 -D
	Índice de diversidad de Simpson = 0,66

Índice Finca Tipo III – Mixta:

Tabla 3. Listado de especies y cálculos índices Shannon y Simpson, Finca Tipo III (Mixta).

Phyllum	Clase	Orden	Familia	n	Pi * LN Pi	n*(n-1)	
ANNELIDA	Oligochaeta			1	1	-0,00883677	0
ARTHROPODA	Arachnida – Subclase Acari			2	88	-0,25159331	7656
ARTHROPODA	Arachnida	Araneae (araña, pseudoes- corpiones)		3	1	-0,00883677	0
ARTHROPODA Subphyllum - MYRIAPODA	Chilopoda (N.V cienpiés)			4	4	-0,02794363	12

Continuación tabla 3

Phyllum	Clase	Orden	Familia	n		Pi * LN Pi	n*(n-1)
ARTHROPODA Subphyllum - MYRIAPODA	Diplopoda	Julida	Nemasoma- tidae	5	9	-0,05312901	72
ARTHROPODA Subphyllum - MyRIAPODA	Diplopoda	Polidesmida (N.V mil pies con Caparazón)		6	6	-0,03866739	30
ARTHROPODA Subphyllum - MYRIAPODA	Diplopoda	Polixenida (N.V mil pies con pelos urticantes)		7	2	-0,01582268	2
ARTHROPODA Subphyllum - CRUSTACEA	Malacostraca	Isopoda		8	3	-0,02210999	6
ARTHROPODA	Symphyla			9	7	-0,0436713	42
ARTHROPODA Subphyllum -HEXAPODA	Entognatha	Collembola	Entomobriidae	10	119	-0,29227536	14042
ARTHROPODA Subphyllum -HEXAPODA	Entognatha	Collembola	Isotomidae	11	92	-0,25756934	8372
ARTHROPODA Subphyllum -HEXAPODA	Entognatha	Collembola	Poduridae	12	18	-0,08960028	306
ARTHROPODA Subphyllum -HEXAPODA	Entognatha	Diplura	Campodeidae	13	3	-0,02210999	6
ARTHROPODA Subphyllum -HEXAPODA	Entognatha	Diplura	japigydae	14	10	-0,05762555	90
ARTHROPODA	INSECTA	SUBORDEN Machiloidea =Microcoryphia		15	7	-0,0436713	42
ARTHROPODA	INSECTA	Hemiptera	Cydnidae	16	11	-0,06198836	110
ARTHROPODA	INSECTA	Hemiptera	Gelastocoridae	17	2	-0,01582268	2
ARTHROPODA	INSECTA	Psocoptera		18	1	-0,00883677	0
ARTHROPODA	INSECTA	Coleoptera	Ptilidae	19	2	-0,01582268	2
ARTHROPODA	INSECTA	Coleoptera	Scarabaeidae	20	4	-0,02794363	12
ARTHROPODA	INSECTA	Coleoptera	Scydmaenidae	21	10	-0,05762555	90
ARTHROPODA	INSECTA	Coleoptera	Staphilinidae	22	24	-0,11024892	552
ARTHROPODA	INSECTA	Coleoptera	NI	23	7	-0,0436713	42
ARTHROPODA	INSECTA	Hymenoptera (Microhymenoptera)		24	1	-0,00883677	0

Continuación tabla 3

Phyllum	Clase	Orden	Familia	n	Pi * LN Pi	n*(n-1)	
ARTHROPODA	INSECTA	Hymenoptera	Formicidae (hormigas)	25	313	-0,36462444	97656
ARTHROPODA	INSECTA	Diptera	Tachinidae	26	1	-0,00883677	0
ARTHROPODA	INSECTA	Diptera	NI (moscas, zancudos)	27	3	-0,02210999	6
TOTALES					749	-1,9798305	129150

Índice de Shannon	Índice de Simpson
H = 1,979	D = (Sum n(n-1)) / (N (N-1))
Hmax = LN (27) = 3,295	D = 129150 / (749 (749 -1))
Uniformidad = H / Hmax = (1,979) / (3,295) = 0,6	D = 129150 / 560252
Uniformidad = 0,6	D = 0,23
Índice de Diversidad de Shannon = 1,979	Índice de diversidad de Simpson = 1 - D
	Índice de diversidad de Simpson = 0,77

En los sistemas agrícolas, la biodiversidad realiza servicios que van más allá de la producción de alimentos, fibras, combustibles e ingresos (Altieri, 2010). Es así como los servicios ecosistémicos se configuran a partir de beneficios potenciales asociados a las funciones de los ecosistemas, que se concretan en servicios reales una vez son demandados, usados o disfrutados; es decir, cuando la sociedad les asigna valores instrumentales (Corredor, Fonseca, & Páez, 2012). En este sentido, de acuerdo a lo citado por Ruiz, Lavelle y Jiménez (2008), la macro fauna es un grupo Funcional debido a que se constituye en un grupo de organismos que cumplen la misma función y tienen impacto similar dentro del suelo, citando a Gitay y Noble (1997) (Ruiz, Lavelle, & Jiménez, 2008, pág. 35). No existe, un único sistema de clasificación, debido a que los criterios usados para clasificar los organismos del suelo y el grado de subdivisión aplicados son una función de quine orienta la investigación (Ruiz, Lavelle, & Jiménez, 2008, pág. 36). De otra parte, se argumenta que, dentro de un suelo, existe

un balance complejo y dinámico entre los diferentes grupos de organismos y los diferentes hábitos de alimentación. La Predación y la Competencia, son los principales factores que controlan dicho equilibrio, como se vio en la clasificación anterior de la biomasa encontrada (Ruiz, Lavelle, & Jiménez, 2008, pág. 23).

Se considera que la Predación tiene un importante papel debido a que establece un balance entre el número de individuos y la cantidad de recursos disponibles. La competencia es otra forma de mantener las poblaciones de fauna del suelo, en balance con los recursos del suelo (Ruiz, Lavelle, & Jiménez, 2008, pág. 23). Se resalta que otro efecto biológico de la macro fauna del suelo, es la eliminación del material muerto (Jiménez, Lavelle y Ruiz, 2008). Este trabajo es realizado por los Necrófagos (alimento de animales muertos o muriéndose) y los Coprófagos (alimento del excremento), tales como las larvas Dípteras y Coleóptera, y las larvas y los adultos de Lepidóptera. Ellos limpian la superficie del suelo e incorporan

material orgánico. Además la macro fauna del suelo disemina bacterias y esporas a través de la dispersión de excremento (Ruiz, Lavelle, & Jiménez, 2008, pág. 24). En este sentido, en cuanto a la incorporación de materia orgánica tanto por los artrópodos así como los microorganismos, la alta relación Carbono/Nitrógeno es un aspecto que influye notoriamente en la dinámica de descomposición de un residuo (Sanclemente Reyes, García Arboleda, & Valencia Trujillo, 2011).

Los Artrópodos del suelo de la finca convencional (Tipo I) presenta mayor índice de diversidad que la finca orgánica y esta última mayor índice que la finca mixta. A pesar de ello, la finca orgánica presenta una mayor población de artrópodos (1982 Individuos) que supera en 2,6 veces las poblaciones de finca mixta (748 Individuos) y en 4,1 veces la población de la finca convencional (483 Individuos). Lo cual demuestra la alta interacción entre los artrópodos y la dinámica de la materia orgánica, en el rol de transformación de macromoléculas lignocelulíticas y de residuo diversidad, hacia formas más mineralizadas y en busca de la relación C/N estándar de la naturaleza.

Como se anotó al inicio, debería buscarse en trabajos de este tipo con los mismos parámetros y variables, un mayor número de transectos para evitar yerros en el conteo por cuadrantes; dado que, a diferencia de las otras muestras tomadas en esta investigación, la ubicación, identificación y conteo de poblaciones de artrópodos requiere cierta especificidad de tiempo y espacio para su colección en campo.

Es importante desarrollar investigaciones similares en otros sistemas productivos y en otras matrices territoriales, con el fin de validar y seguir refinando la metodología en el sector agropecuario, evaluando su inserción como elemento de evaluación de gradientes

de sustentabilidad en el desarrollo del sector y específicamente en la agroecología.

La metodología implica el conocimiento transdisciplinario o la integración de equipos de trabajo de varias disciplinas, debido a la complejidad del proceso en donde están involucrados aspectos de Agroecología, Termodinámica, Biología, Agronomía, Estadística, Economía y Administración.

CONCLUSIONES

La estructura agroecosistémica de la Finca Orgánica establece una alta funcionalidad en la generación de biomasa in situ, lo cual influye enormemente en la intensa dinámica poblacional de artrópodos en sus diferentes roles de gestión de macromoléculas de celulosa, hemicelulosa y lignina para ser incorporadas en el componente suelo del agroecosistema.

Los patrones de manejo antrópico de cada una de las fincas Tipo, influye en las poblaciones de artrópodos producto de la naturaleza de los insumos utilizados en la producción.

La alta dinámica de la materia orgánica mejora la estabilidad de la humedad del suelo aspecto importante en los artrópodos del orden collem-bola, razón por la cual sus poblaciones son mucho más altas en la finca Orgánica, seguidas por la finca Mixta y por último la finca convencional.

LITERATURA CITADA

- Altieri, M. (2010). El estado del arte de la Agroecología: revisando avances y desafíos. En T. León Sicard, & M. A. Altieri, *Vertientes del pensamiento agroecológico* (págs. 77 - 104). Bogotá D.C: Opciones Gráficas Editores Ltda.
- Alvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., . . . Villarreal, H. (2006). *Manual de Metodos para el Desarrollo de Inventarios de Biodiversidad. Programa Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos*. Bogotá D.C: Ramos López Editorial.

- Corredor, E. S., Fonseca, J. A., & Páez, E. M. (2012). Los servicios ecosistémicos de regulación: tendencias e impacto en el bienestar humano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental - RIAA*, 77 - 83.
- García A, M. (2016). *Análisis exergético a sistemas de producción de café y su relación con la sustentabilidad (Tesis de Doctorado)*. Universidad Nacional, Palmira, Colombia.
- García, A. M. (2011). Alternativas para el diagnóstico de contexto como elementos para la formulación de proyectos agropecuarios. En J. Mora Delgado, & V. Holguin, *Medios de vida y materiales orgánicos en fincas campesinas* (págs. 77 - 88). Ibagué - Tolima.
- Giraldo, R., Nieto, L.E., Quiceno, A. y Sanclemente, O.E. (2018). Evaluación de sustentabilidad en agroecosistemas campesinos del corregimiento de San Isidro, Pradera, Valle del Cauca, Colombia. En E. Arnés y M. Astier (Ed.), *Sostenibilidad en sistemas de manejo de recursos naturales en países andinos*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Quito, Ecuador. ISBN UNESCO: 978-92-3-300101-5. Pp.125- 150. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000366841>
- Gruner, D. S. (2003). Regressions of Length and Width to Predict Arthropod Biomass in the Hawaiian Islands. *Pacific Science*, 57(3), 325-336. Obtenido de <http://scholarspace.manoa.hawaii.edu/bitstream/handle/10125/2681/vol57n3-325-336.pdf?sequence=1>
- Lince, L. A., & Sadeghian, S. (2016). Producción de café (*Coffea arabica* L.) en respuesta al manejo específico por sitio de la fertilidad del suelo. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental - RIAA*, 25 - 37.
- Nicholls, C. I. (2008). *Control Biológico de Insectos: un enfoque agroecológico*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Pedersen et al, u. (2 de enero de 2013). <http://bios.au.dk/en>. (A. University, Ed.) Obtenido de http://bios.au.dk/fileadmin/dmu.dk/en/animalsplants/almass/landscape/Relationships_between_insect_biomass_and_plant_biomass_and_height_in_ALMaSS_2_Jan_2013.pdf.
- Ruiz, N., Lavelle, P., & Jiménez, J. (2008). *SOIL MACROFAUNA FIELD MANUAL*. Roma: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Recuperado el 25 de agosto de 2015
- Sanclemente, O. E., Yacumal, V., & Patiño, C. 2017. Solubilización de fosfatos por bacterias nativas aisladas en tres Agroecosistemas del Valle del Cauca (Colombia). *Temas Agrarios*, 61 - 69. doi:<https://doi.org/10.21897/rta.v22i2.945>
- Sanclemente Reyes, O. E., García Arboleda, M., & Valencia Trujillo, F. L. (2011). Efecto del uso de melaza y microorganismos eficientes sobre la tasa de descomposición de la hoja de caña (*Sacharum officinarum*). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13 -19.
- Szargut, J., Valero, A., Stanek, W., & Valero, A. (2005). www.exergoecology.com. (CIRCE, Ed.) Recuperado el enero de 2013, de http://www.exergoecology.com/papers/towards_int_re.pdf
- Zhang, W. (January de 2011). Simulation of arthropod abundance from plant composition. (I. A. Sciences, Ed.) *Computational Ecology and Software*, 1(1), 37-48. Recuperado el 15 de enero de 2014, de <http://www.iaees.org/publications/journals/ces/articles/2011-1%281%29/Simulation-of-arthropod-abundance-from-plant-composition.pdf>

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.

EFFECTO DE UNA FUENTE ALTERNA DE FÓSFORO EN LA PRODUCCIÓN DE CEBOLLA DE BULBO (*ALLIUM CEPA* L.) BAJO CONDICIONES DE CAMPO

EFFECT OF AN ALTERNATE SOURCE OF PHOSPHORUS IN THE YIELD OF ONION (*ALLIUM CEPA* L.) UNDER FIELD CONDITIONS

¹ **Elberth Hernando Pinzón-Sandoval**, ² **Oscar Eduardo Munevar-Garcia**,
³ **David Fernando Torres-Hernandez**, ⁴ **Edwin Ferney Cruz-Ruiz**

¹ Ingeniero Agrónomo. M.Sc. Fisiología vegetal. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo GIPSO.

² Ingeniero Agrónomo, Estudiante de Maestría en Ciencias Agrarias.

³ Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Fisiología Vegetal. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo GISSAT.

⁴ Ingeniero Agrónomo, Estudiante de Maestría en Fisiología Vegetal. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo Ecofisiología vegetal.

¹ elberth.pinzon@uptc.edu.co

² oscar.munevar@uptc.edu.co

³ david.torres@uptc.edu.co

⁴ edwincruz434@yahoo.es

RESUMEN

La cebolla de bulbo es una de las hortalizas más cultivadas y consumidas a nivel mundial. En Colombia su siembra se concentra en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca. Sin embargo, este cultivo en la actualidad presenta problemas de plagas, enfermedades y deficiente nutrición mineral. El buen suministro de macro y micronutrientes es fundamental para que la planta logre desarrollar sus procesos metabólicos adecuadamente. Dentro de los macronutrientes el fósforo (P) tiene un papel relevante ya que este hace parte de la transferencia de energía en los procesos metabólicos y síntesis de las estructuras celulares

de las plantas. Por esta razón el objetivo de la investigación fue evaluar una fuente no convencional de fósforo en plantas de cebolla (*Allium cepa* L.) bajo condiciones de campo. Para esto se empleó un diseño completamente aleatorizado con cuatro tratamientos que consistieron en la aplicación de un fosfato térmico en diferentes porcentajes. Las variables fisiológicas y de crecimiento evaluadas fueron: masa fresca y seca foliar, y de bulbo, área foliar, contenido foliar de fósforo, calcio y magnesio, y rendimiento. Se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en las variables masa fresca foliar y de bulbo, masa seca de

bulbo, área foliar, contenido foliar de magnesio y rendimiento frente a la aplicación de una fuente convencional, esto convierte al fosfato térmico en una alternativa a tener en cuenta dentro de los planes de fertilización de cultivos semestrales dentro de un esquema de nutrición mineral, bajo las condiciones de estudio.

Palabras clave: macroelemento, nutrición mineral, fosfato térmico, hortaliza.

ABSTRACT

The onion is one of the most cultivated and consumed vegetables worldwide. In Colombia its seed is concentrated in the departments of Boyacá and Cundinamarca. However, this crop currently presents problems of plagues, diseases and low mineral nutrition. The good supply of macro and micronutrients is essential for the plant to develop its metabolic processes properly. Within the macronutrients, phosphorus (P) plays an important role since it is part of the transfer of energy in the metabolic

processes and synthesis of the cellular structures of plants. For this reason the aim of the research was to evaluate an unconventional source of phosphorus in onion plants (*Allium cepa* L.) under field conditions, for which a completely randomized design was used with four treatments that consisted in the application of a thermal phosphate in different percentages. The physiological and growth variables evaluated were: fresh and dry foliar, and bulb mass, leaf area, phosphorus, calcium and magnesium foliar content, and yield. There were significant differences ($P \leq 0.05$) in the variables foliar and bulb fresh mass, bulb dry mass, leaf area, magnesium leaf content and yield versus the application of a conventional source, this converts the thermal phosphate into an alternative to take into account within the fertilization plans of semi-annual crops within a mineral nutrition scheme under the study conditions.

Key words: macroelement, mineral nutrition, thermic phosphate, vegetable.

INTRODUCCIÓN

En Colombia la cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) es una de las hortalizas de mayor importancia en los sistemas de producción de clima frío tropical. El departamento de Boyacá cuenta con el distrito de riego del Alto Chicamocha en el que se concentran cerca de 2.500 ha destinadas a la producción de cebolla de bulbo y en el cual se presentan los mejores rendimientos a nivel nacional (Gutiérrez *et al.*, 2013). En el 2017, Boyacá se consolidó como el mayor productor de cebolla de bulbo en Colombia con una participación en el mercado del 56,2 %, un área sembrada de 6.371 ha, una producción de 180.129 t, y un rendimiento promedio de 28,1 t.ha⁻¹ (MADR, 2018).

La cebolla de bulbo es una hortaliza muy apetecida por los consumidores debido a sus diferentes formas de presentación en la que se puede encontrar en el mercado que van desde en fresco hasta encurtidos o deshidratada. Lo anterior la posiciona como una de las hortalizas con mayor importancia económica en el mundo (Estrada-Prado *et al.*, 2015). En Colombia, este sistema productivo es un generador de empleo e ingresos especialmente para productores de zonas como el altiplano cundiboyacense en las que se concentra cerca del 68,6 % de la producción nacional (Álvarez-Herrera *et al.*, 2017).

A pesar de ser un cultivo tan importante, presenta bajos rendimientos en comparación con

otros países de la región (Álvarez-Herrera *et al.*, 2017). Debido a la baja adopción de tecnología en los últimos años y a diferentes problemas dentro de los que se encuentran plagas, enfermedades, uso ineficiente del recurso hídrico y planes inadecuados de nutrición mineral. En Colombia tradicionalmente la nutrición del cultivo se realiza sin un diagnóstico integral previo que conlleva básicamente a la aplicación de fertilizantes convencionales de forma edáfica, sin tener en cuenta los requerimientos del cultivo (Gomez *et al.*, 2010).

El proceso de nutrición mineral de los cultivos juega un papel muy importante ya que, a partir de un adecuado suministro de macro y micronutrientes basado en los requerimientos y su relación con la fenología se podrá aportar de una forma significativa en la expresión del potencial genético de producción de las plantas (Backes *et al.*, 2018). Dentro de los macronutrientes, el fósforo (P) tiene un papel relevante ya que hace parte de la transferencia de energía en los procesos metabólicos y la síntesis de las estructuras celulares de las plantas (Marschner, 2012). En consecuencia, la disponibilidad de este elemento tiene un efecto directo sobre el crecimiento y desarrollo de todos los cultivos (Wynngaard *et al.*, 2016). Las fuentes de fósforo empleadas en la agricultura provienen de un recurso de tipo mineral conocido como roca fosfórica el cual es limitado y no renovable (Gilbert, 2009; Zhu *et al.*, 2018).

En la actualidad existe la percepción general de que los fertilizantes convencionales son ineficientes en el aporte de fósforo a los cultivos (Roberts & Johnston, 2015). Sin embargo, existen fuentes no convencionales como el fosfato térmico con propiedades de mayor disponibilidad debido al proceso de rompimiento térmico de la roca fosfórica, esto genera un material con una solubilidad intermedia que mejora la disponibilidad a corto y largo plazo y ofrece a

la planta un mayor porcentaje de fósforo, en forma asimilable durante todo su ciclo fenológico (Fernández & Noguera, 2003). Dichas propiedades han sido evaluadas en cultivos como Frijol cv 'ICA Cerinza' (Quintana-Blanco *et al.*, 2017) y Fresa cv 'Albiión' (Galindo-López *et al.*, 2018) en los que se observó un mejor desempeño en variables de crecimiento y producción.

Por esto, el objetivo de esta investigación fue evaluar una fuente no convencional de fósforo (fosfato térmico) y su respuesta en variables de crecimiento y producción en el cultivo de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) bajo condiciones ambientales y edáficas del municipio de Tibasosa-Boyacá.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó bajo condiciones de campo, en un predio ubicado en el municipio de Tibasosa, Boyacá, con coordenadas 5°44'53"N 72°59'56"O y una altura de 2.538 msnm. Las condiciones climáticas durante el desarrollo del experimento fueron: temperatura promedio de 13,9 °C, humedad relativa promedio del 82 % y una precipitación media mensual de 81,7 mm.

Para evaluar el efecto del fosfato térmico se reemplazó parcialmente la fuente de fósforo empleada por el agricultor de forma convencional, para esto se empleó un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos así: T1: 100 % fosfato Diamónico (DAP) (fuente convencional); T2: 80 % DAP, 20 % fosfato térmico (FT); T3: 40 % DAP, 60 % FT y T4: 20 % DAP, 80 % FT. Los porcentajes se ajustaron al requerimiento del cultivo de acuerdo a lo reportado por Guerrero-Riasco (1995) y las condiciones del suelo determinadas mediante análisis fisicoquímico (Tabla I), se utilizó una fuente comercial de fosfato térmico, con una composición garantizada de P_2O_5 20 %; CaO 28 %; MgO 8,5 %; SiO_2 15 %. Cada

tratamiento se replicó tres veces, para un total de 12 unidades experimentales. Para el establecimiento de las unidades experimentales se tomó una cama de 100 m², dividida en parcelas de 8 m², con un total de 225 plantas por parcela. La siembra se realizó por trasplante, se empleó como material vegetal el híbrido Yellow Granex F1.

Para medir las variables se seleccionaron 10 plantas del centro de cada unidad experimental con el fin de evitar el efecto de borde. La

aplicación de los tratamientos se hizo al momento de la siembra junto con los demás nutrientes, empleando urea como fuente de nitrógeno, KCl como fuente de potasio y un producto comercial que garantizara el suministro de elementos menores. Se aplicó riego por aspersión según la necesidad del cultivo, se realizó manejo fitosanitario con base en monitoreo pero respetando las prácticas de manejo del agricultor. La investigación se realizó en el segundo semestre del 2017 con una duración de 120 días a partir del trasplante.

Tabla 1. Análisis físico-químico de suelo, sitio de investigación.

Propiedad	Valor	Interpretación
pH	5,16	Fuertemente ácido
M.O (%)	2,32	Baja
P Bray II (ppm)	53,4	Alto
Ca (cmol kg ⁻¹)	7,85	Alto
Mg (cmol kg ⁻¹)	1,9	Medio
K (cmol kg ⁻¹)	1,86	Alto
Na (cmol kg ⁻¹)	0,28	Medio
CE (dS m ⁻¹)	0,52	Medio
Textura	A: 46 Ar: 28 L: 26	Franco areno arcilloso

Las variables fisiológicas y de crecimiento evaluadas fueron: masa fresca y seca foliar y de bulbo, mediante una balanza electrónica Acculab VIC 612 de 0,01g de precisión y secadas en una estufa Memmert a 70°C hasta alcanzar peso constante (Aprox. 72 horas); concentración foliar de fósforo, calcio y magnesio a través del método de calcinación a 600 °C, digestión ácida y valoración por espectrofotometría visible llevada a cabo por el laboratorio AGRILAB®. En cuanto al rendimiento, se cuantificó extrapolando los datos de peso fresco de bulbo de la zona muestreada (8 m²) a t.ha⁻¹, se clasificaron los bulbos por su diámetro dentro de los rangos de calidad establecidos por la norma técnica Colombiana NTC 1221 teniendo para la calidad 1

(C1), bulbos de calibre de 71 a 90 mm y para la calidad 2 (C2), bulbos de calibre de 41 a 70 mm. Las variables de crecimiento y producción fueron cuantificadas a los 120 días después del trasplante.

Los datos obtenidos fueron sometidos a pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. Comprobados los supuestos se realizó análisis de varianza, las variables que mostraron diferencias estadísticas fueron sometidas a pruebas de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0,05$). Los análisis se realizaron con el programa estadístico SAS v.9.2e SAS (Institute Inc., Cary, NC).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

MASA FRESCA Y SECA FOLIAR Y DE BULBO

El fosfato térmico empleado generó una respuesta positiva sobre la ganancia de masa fresca en plantas de *A. cepa* con diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre tratamientos. La

aplicación de fosfato térmico en un porcentaje de 80 % en relación al requerimiento del cultivo presentó el mejor resultado de masa fresca foliar y de bulbo con valores de $91,2 \pm 3,4$ y $155,8 \pm 2,01$ g respectivamente. Por su parte el tratamiento convencional 100 % DAP presentó valores de $39,1 \pm 6,06$ y $120,4 \pm 5,25$ respectivamente (Figura 1).

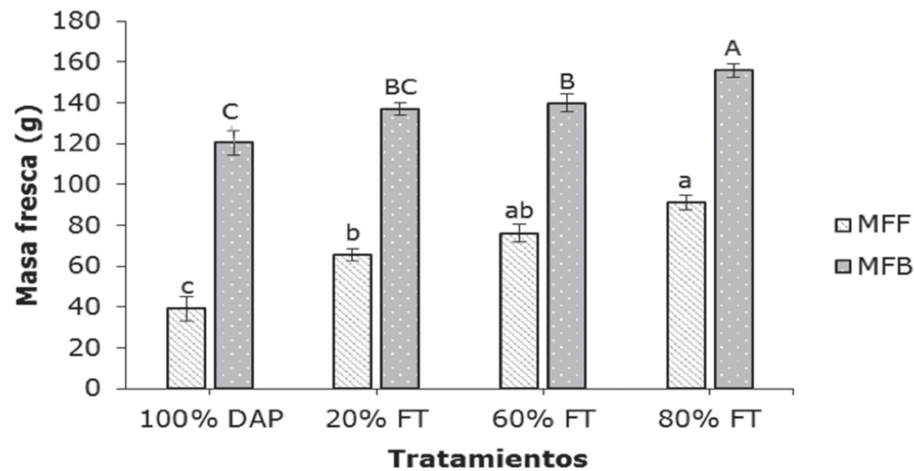


Figura 1. Masa fresca de plantas de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) con aplicación de un fosfato térmico en diferentes porcentajes. Letras diferentes en cada serie indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Barras verticales indican error estándar ($n=3$). MFF: Masa fresca foliar; MFB: Masa fresca de bulbo.

El fósforo es parte de moléculas como el ATP y de la formación de membranas celulares, ya que hace parte de los fosfolípidos (Marschner, 2012), lo cual se verá reflejado, en principio, en la adecuada formación de raíces y por consiguiente mejor toma de agua y nutrientes, esto responde a lo encontrado en el presente experimento en el que la aplicación de un fosfato térmico en un porcentaje del 80 % generó una mayor masa fresca foliar y de bulbo, posiblemente debido a que este fertilizante al ser citrosoluble e hidrosoluble genera una disponibilidad del elemento de forma más

prolongada, ajustándose a los requerimientos de las diferentes etapas fenológicas de la planta (Quintana-Blanco *et al.*, 2017).

La masa seca del bulbo presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$), mientras que la masa seca foliar no mostró diferencias estadísticas. El tratamiento de 80 % de fosfato térmico generó un aumento del peso seco del bulbo con un valor de $17,2 \pm 0,6$ g frente a la aplicación de DAP que presentó un valor de $12,4 \pm 0,4$ g (Figura 2).

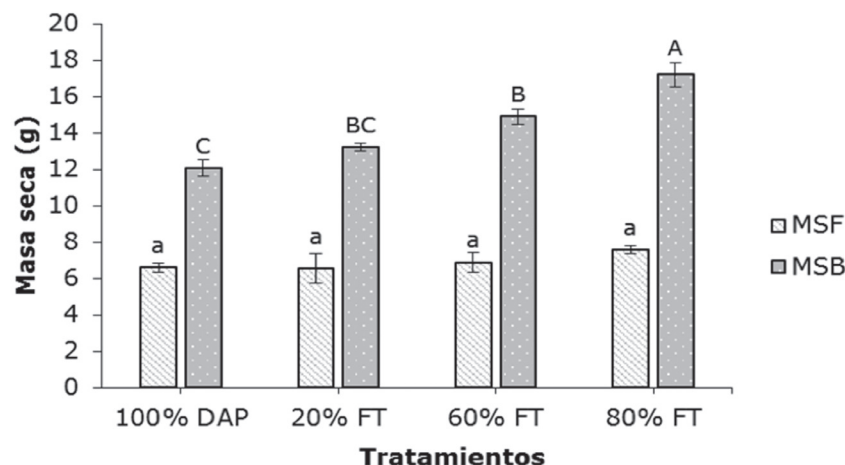


Figura 2. Masa seca en plantas de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) con aplicación de un fosfato térmico en diferentes porcentajes. Letras diferentes en cada serie indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Barras verticales indican error estándar ($n=3$). MFF: Masa seca foliar; MFB: Masa seca de bulbo.

La masa seca de los bulbos es un factor muy importante para la industria de cebollas deshidratadas, ya que bulbos con poco peso seco son poco apetecidos al mayor gasto de energía para su secado (Bonza-Espinoza *et al.*, 2016). La masa seca de los bulbos determina atributos de calidad como la pungencia y la vida útil en anaquel (Hendriksen & Hansen, 2001). El fósforo está directamente relacionado con el cotransporte de las triosas fosfatadas del cloroplasto al citosol, donde se sintetizan a sacarosa para su posterior transporte

y almacenamiento en los órganos de reserva como almidón, de esta forma se aumenta la masa seca de los órganos vertedero.

ÁREA FOLIAR

El área foliar presentó diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0,05$). La aplicación de un fosfato térmico en diferentes porcentajes generó un aumento del área foliar alcanzando un valor de $458,8 \pm 8,4 \text{ cm}^2/\text{planta}$, en relación con el tratamiento convencional que obtuvo un área foliar de $362,7 \pm 10,9 \text{ cm}^2/\text{Planta}$ (Figura 3).

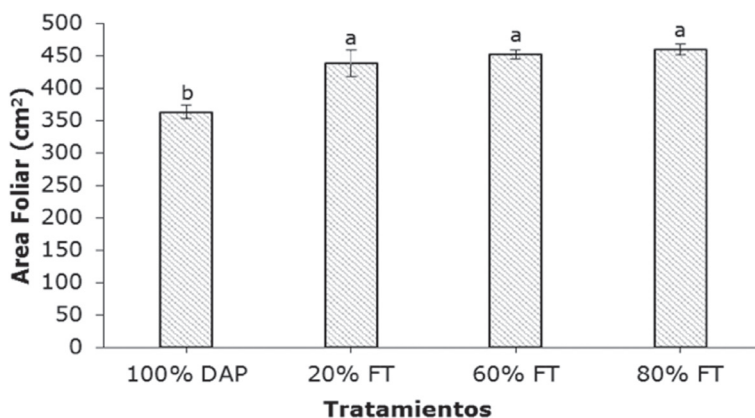


Figura 3. Área foliar de plantas de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) con aplicación de un fosfato térmico en diferentes porcentajes. Letras distintas entre tratamientos indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Barras verticales indican error estándar ($n=3$).

Cuando el fósforo es limitante o su suministro es deficiente, la planta puede presentar una reducción en la expansión de la hoja y el área foliar, así como también variación en el número de hojas (IPNI, 1999). El área foliar está estrechamente relacionada con la dinámica de la acumulación de materia seca, fósforo y otros nutrientes (Marschner, 2012), siendo la lámina foliar la parte más importante del aparato fotosintético de la planta (Pineda-Mares *et al.*, 2001). Es importante tener en cuenta que el fosfato térmico, dentro de su composición, además de fósforo contiene magnesio y silicio, los cuales son elementos que contribuyen de forma significativa en la síntesis de clorofila, así como en la protección del sistema fotosintético, situación que se verá reflejada en un mayor crecimiento de la planta (Epstein, 2009; Cakmak & Yazici, 2010).

CONTENIDO DE FÓSFORO, CALCIO Y MAGNESIO EN TEJIDOS

El contenido de fósforo a nivel de tejido foliar no presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$), sin embargo los tratamientos con aplicación de fosfato térmico en algún

porcentaje se mostraron estadísticamente similares con valores que van desde $0,22 \pm 0,02$ hasta $0,26 \pm 0,005$ %, en comparación con el tratamiento testigo, el cual presentó un valor de $0,25 \pm 0,008$ % (Figura 4). Lo anterior indica que el fosfato térmico como fuente de fósforo presenta buenas características de solubilidad y disponibilidad para la planta, siendo una excelente alternativa ya que desde el punto de vista económico es una fuente que presenta un valor comercial 2,5 veces menor que la fuente de fósforo empleada convencionalmente.

En la mayoría de plantas la concentración de fósforo que se considera adecuada a nivel de tejido es de 0,2 % en relación al peso seco (Marschner, 2012), valor que se ajusta a lo observado en la presente investigación. Los valores de fósforo foliar encontrados en los tratamientos de fosfato térmico se pueden asociar al aumento de masa fresca y seca ya que un adecuado nivel de fósforo a nivel foliar tiene un efecto directo en la capacidad fotosintética (Singh *et al.*, 2013), esto genera un correcto crecimiento de las plantas.

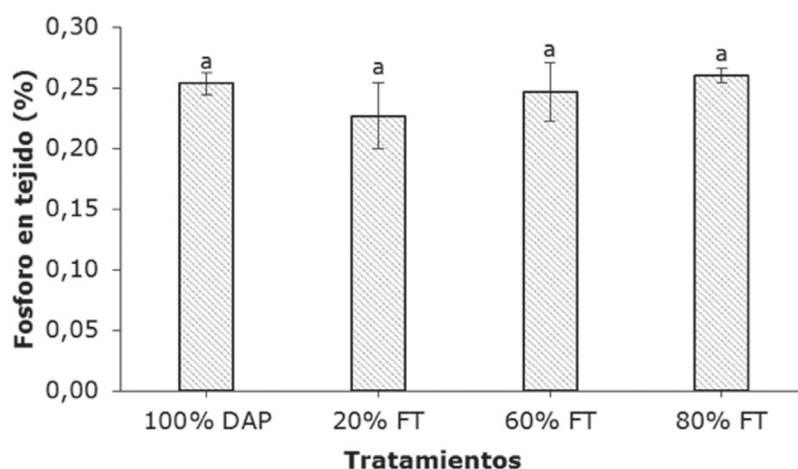


Figura 4. Contenido de fósforo foliar de plantas de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) con aplicación de un fosfato térmico en diferentes porcentajes. Letras distintas entre tratamientos indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Barras verticales indican error estándar ($n=3$).

El fosfato térmico, al tener silicio en su composición, facilita la disponibilidad de fósforo debido a que los sitios de fijación de este elemento pueden ser ocupados parcialmente por el ácido silícico, quedando el P en la solución del suelo. Estas reacciones de adsorción-desorción son reversibles y constituyen un mecanismo fundamental para mejorar la disponibilidad de P en los suelos, generando una mejor dinámica nutricional (Datnoff, 2005).

El contenido de calcio no presentó diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$); sin embargo, al igual que el fósforo, mostró valores similares al tratamiento testigo (Figura 5A). Los valores observados se ajustan a lo reportado por Larcher (2003) quien indica que el calcio, a nivel foliar, puede oscilar entre 0,04 a 1,3 % en relación al peso seco. Lo anterior indica que el calcio aportado por el fosfato térmico genera un aporte efectivo para la planta, el cual cumplirá funciones de tipo estructural, pues hace parte de las pectinas a nivel de la pared celular, siendo indispensable para la formación de

las nuevas células (Marschner, 2012).

Por su parte el contenido de magnesio foliar mostró diferencias significativas ($P \leq 0,05$). El tratamiento en el que se empleó un 80 % de fosfato térmico presentó un valor de $0,18 \pm 0,005$ %, por su parte el tratamiento testigo generó un valor de $0,14 \pm 0,003$ % (Figura 5B). El producto empleado mostró un aporte importante de magnesio, siendo fundamental para el buen funcionamiento del proceso fotosintético de las plantas, debido a que un 75 % del magnesio foliar está involucrado en la síntesis de proteínas y entre el 15 y 20 %, asociado con pigmentos de clorofila (White, 2009). Siendo también cofactor de una serie de enzimas involucradas en la fijación fotosintética de carbono (Maathuis, 2009). La respuesta encontrada en variables como área foliar y masa fresca y seca se asocian de una forma clara al aporte de fósforo, calcio y magnesio realizado por el fosfato térmico empleado en el presente estudio.

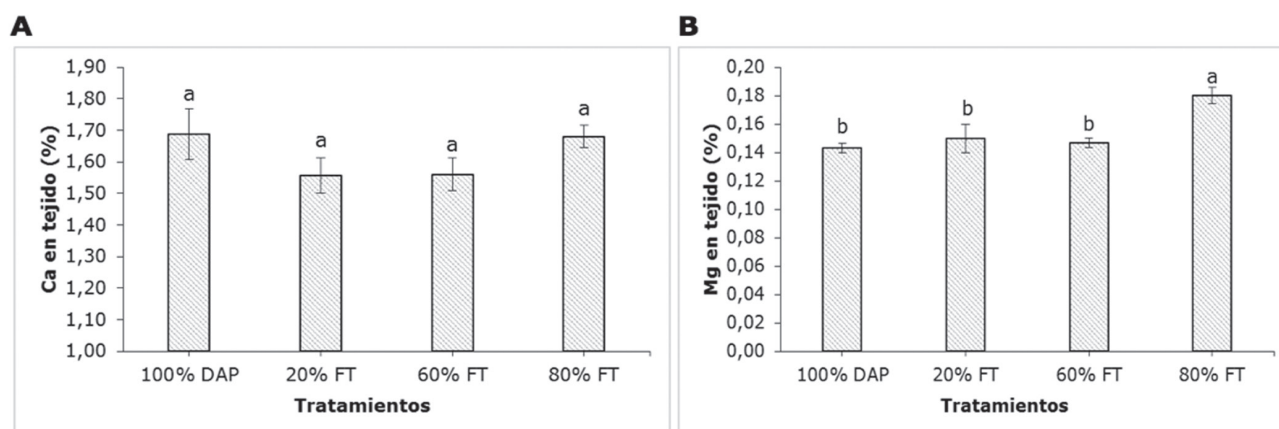


Figura 5. Concentración foliar de **A:** Calcio; **B:** Magnesio en plantas de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) con aplicación de un fosfato térmico en diferentes porcentajes. Letras distintas entre tratamientos indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Barras verticales indican error estándar ($n=3$).

RENDIMIENTO

La variable rendimiento presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) para la clasificación C1 que corresponde a bulbos con un diámetro ecuatorial entre 71 y 90 mm (ICONTEC, 1994). La aplicación del fosfato térmico en diferente porcentaje generó valores entre $57,5 \pm 0,2$ y

$62,2 \pm 0,08 \text{ t ha}^{-1}$, mientras que el tratamiento testigo el cual tuvo como fuente de fósforo DAP mostró un valor de $53,6 \pm 0,5 \text{ t ha}^{-1}$. La clasificación C2 que correspondió a bulbos con diámetro ecuatorial de 41 a 70 mm no mostró diferencias entre tratamientos (Figura 6).

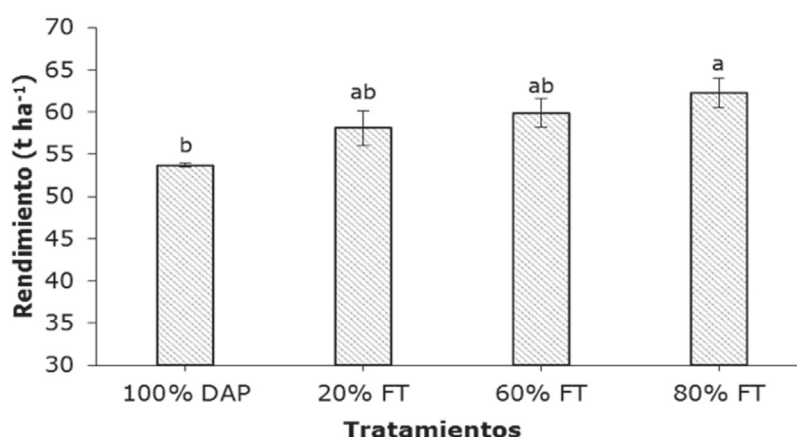


Figura 6. Rendimiento por calidades de plantas de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) con aplicación de un fosfato térmico en diferentes porcentajes. Letras distintas entre tratamientos indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Barras verticales indican error estándar ($n=3$). C1: Bulbos con diámetro de 71 a 90 mm; C2: Bulbos con diámetro de 41 a 70 mm.

El papel del fósforo es esencial en muchos aspectos del metabolismo celular, que van desde el desarrollo embrionario, la germinación, el crecimiento de las plántulas, y la formación del sistema radical, hasta la floración (Marschner, 2012). La aplicación de una fuente alterna de fósforo en las concentraciones usadas en esta investigación resultó en un aumento del rendimiento con respecto a la aplicación de una fuente convencional. Estos resultados coinciden con lo reportado por Quintana *et al.*, (2017) quienes reportan un aumento en el rendimiento de frijol cv 'ICA Cerinza' con la aplicación de una dosis de 600 kg ha^{-1} de termofosfato. Por su parte, Fernandez & Meza (2004) indican que la aplicación de roca fosfórica calcinada como es el caso del fosfato térmico empleado, generó

una mejor disponibilidad de fósforo en el cultivo de maíz, representado en una mayor producción de biomasa en un suelo tropical ácido, esto concuerda con los resultados observados en el presente estudio.

CONCLUSIONES

La aplicación de un fosfato térmico comercial generó una respuesta positiva en variables como masa fresca foliar y de bulbo, masa seca de bulbo, área foliar, además de un resultado similar en la concentración foliar de fósforo, calcio y magnesio y rendimiento t.ha^{-1} en plantas de cebolla "*Allium cepa* L." bajo condiciones de campo, frente a la aplicación de una fuente convencional. Esto convierte a esta fuente no convencional de fósforo en una alternativa que

se puede tener en cuenta dentro de los planes de fertilización de cultivos semestrales dentro de un esquema de nutrición mineral del cultivo de cebolla bajo las condiciones de estudio.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Herrera, J. G., Alvarado-Sanabria, O. H., & Suesca-Ochoa, F. A. (2017). Efecto de diferentes láminas de riego en el crecimiento y desarrollo de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(2), 359–367. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.7345>
- Backes, C., Villas, R., Grava, L., Forlan, P., & Marques, A. (2018). Determination of growth and nutrient accumulation in bella vista onion. *Caa-tinga*, 31(1), 246–254.
- Bonza-Espinoza, M., Pinzón-Sandoval, E. H., & Álvarez-Herrera, J. G. (2016). Efecto del nitrato de potasio y la sacarosa sobre el rendimiento de plantas de cebolla (*Allium cepa* L.). *Temas Agrarios*, 21(2), 40–50.
- Cakmak, I., & Yazici, A. (2010). Magnesio: El elemento olvidado en la producción de cultivos. *Informaciones Agronómicas-IPNI*, 94(2), 23–25.
- Datnoff, L. E. (2005). Silicon in the Life and Performance of Turfgrass. *Applied Turfgrass Science*, (August), 12–16.
- Epstein, E. (2009). Silicon: Its manifold roles in plants. *Annals of Applied Biology*, 155(2), 155–160.
- Estrada-Prado, Wilfredo, Lescay-Batista, Alvarez-Fonseca, Alexander, Maceo-Ramos, Y. C. (2015). Niveles de humedad en el suelo en la producción de bulbos de cebolla. *Agron. Mesoam.*, 26(1), 111–117.
- Fernandez, S. M., & Meza, C. A. (2004). Efecto residual de la roca fosfórica de riecito modificada por calcinación o acidulación sobre plantas de maíz en suelos con nivel variable de calcio. *Bioagro*, 16(2), 93–98.
- Fernández, S., & Noguera, R. (2003). Producción de fosfatos térmicos a partir de rocas fosfóricas nacionales. *Agricultura Tropical*, 53(1), 49–58.
- Galindo-lópez, F., Pinzón-sandoval, E. H., Quintana-blanco, W. A., Serrano, P. A., & Galán, M. (2018). Evaluación de un termofosfato en el crecimiento y producción de fresa (*Fragaria* x *ananassa* Duch.) cv." ALBIÓN ." *U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, 21(1), 61–69. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n1.2018.663>
- Gilbert, N. (2009). The Disappearing Nutrient. *Nature*, 461(October), 2000–2002.
- Gomez, M. I., Castro, H., Gomez, C. J., & Gutierrez, O. F. (2010). Optimización de la producción y calidad en cebolla cabezona (*allium cepa* L.) mediante el balance nutricional con magnesio y micronutrientes (b, zn y mn), valle alto del río chicamocha, boyaca. *Agronomía Colombiana*, 25(2), 339–348.
- Guerrero-Riascos, R. (1995). *Fertilización de cultivos en clima medio*.
- Gutierrez M., L. M., Rodriguez C., L. F., & Bermudez C., L. T. (2013). Factibilidad de una comercializadora hortícola de economía solidaria en el Distrito de Riego del Alto Chicamocha. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7(1), 62–74.
- Hendriksen, K., & Hansen, S. . (2001). Increasing the dry matter production in bulb onions. *Acta Horticulturae*, 555, 147–152.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC). NTC1221. frutas y hortalizas frescas. cebolla cabezona (1994).
- International Plant Nutrition Institute (IPNI). (1999). Functions of Phosphorus in Plants. *Better Crops*, 83(1), 6–7.
- Larcher, W. (2003). *Physiological Plant Ecology. Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups* (4th ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Maathuis, F. J. (2009). Physiological functions of mineral macronutrients. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3), 250–258. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.04.003>
- Marschner, P. (2012). *Mineral Nutrition of Higher Plants* (Third edit). Elsevier Ltd.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2018). Estadísticas Agrícolas. Área, producción, rendimiento y participación municipal en el departamento por cultivo. Retrieved from <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>
- Quintana-Blanco, W. A., Pinzón-Sandoval, E. H., & Torres, D. F. (2017). Efecto de un fosfato térmico sobre el crecimiento y producción de frijol

- (Phaseolus vulgaris L.) cv "ICA Cerinza." *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 20(1), 51-59.
- Roberts, T. L., & Johnston, A. E. (2015). Phosphorus use efficiency and management in agriculture. *Resources, Conservation and Recycling*, 105, 275-281. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.09.013>
- Singh, S. K., Badgujar, G. B., Reddy, V. R., Fleisher, D. H., & Timlin, D. J. (2013). Effect of Phosphorus Nutrition on Growth and Physiology of Cotton Under Ambient and Elevated Carbon Dioxide. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 199(6), 436-448. <https://doi.org/10.1111/jac.12033>
- White, P. J., & Broadley, M. R. (2009). Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in. *New Phytologist*, 182(1), 49-84. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02738.x>
- Wyngaard, N., Cabrera, M. L., Jarosch, K. A., & Bünnemann, E. K. (2016). Phosphorus in the coarse soil fraction is related to soil organic phosphorus mineralization measured by isotopic dilution. *Soil Biology and Biochemistry*, 96, 107-118. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.01.022>
- Zhu, J., Li, M., & Whelan, M. (2018). Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: A review. *Science of the Total Environment*, 612, 522-537. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.095>

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.

MODELO PARA LA CONSTRUCCIÓN COLECTIVA DE CONOCIMIENTO PARA LA RURALIDAD

MODEL OF COLLECTIVE CONSTRUCTION OF KNOWLEDGE FOR RURALITY

¹ **Deyser Gutiérrez A.**

² **Mary Ortega G.**

³ **Cesar Henao V.**

⁴ **Carlos Torres V.**

⁵ **Jonathan Sánchez G.**

¹ *Magister en Tecnología de la Información. UNAD. Medellín. Colombia. UNAD. Medellín. Colombia.*

² *Magister internacional en Dietética y Nutrición UNAD. Medellín. Colombia. UNAD. Medellín. Colombia.*

³ *Magister en Entornos Virtuales de Aprendizaje. CUA. Medellín. Colombia. CUA. Medellín. Colombia.*

⁴ *Especialista en Gestión de Infraestructura Tecnológica IUE. Envigado. Colombia. IUE. Envigado. Colombia.*

⁵ *Magister en Software libre ITM. Medellín. Colombia. ITM. Medellín. Colombia.*

¹ deyser.gutierrez@unad.edu.co

² mary.ortega@unad.edu.co

³ chenao@coruniamericana.edu.co

⁴ cftorresv@gmail.com

⁵ jonshez@gmail.com

RESUMEN

El diseño de un modelo para la construcción colectiva para la ruralidad, tiene como objetivo visibilizar la pertinencia y calidad de la educación en los diferentes niveles, con la participación de actores sociales especializados y no especializados, dando cuenta de los pasos que se siguieron para elaborar un modelo colaborativo de Educación Superior Rural del Nordeste de Antioquia, con la participación de instituciones de educación superior de la región, que se unen para desarrollar,

en la primera fase un diplomado, donde se apropia de las definiciones de ruralidad y conceptúa la pertinencia de modelos educativos; en la segunda fase, se desarrollan cursos cortos con la implementación de las tendencias, aproximación al contexto sociocultural que van a propiciar el modelo y adaptabilidad; interrelacionado la cultura, desarrollo y pertinencia en contexto, riqueza de conductas con una metodología exploratoria (cualitativa), con la finalidad de mejorar condiciones de

asequibilidad, cobertura y calidad educativa, desde el abanico de realidades sociales. En la tercera fase se construye un modelo colaborativo basado en módulos en el marco de un currículo flexible y una alternativa sociocultural que propende por la reconstrucción del tejido social. En conclusión, el modelo para la construcción colectiva de conocimiento para la ruralidad se diseña colectivamente proponiendo el currículo flexible, didácticas creativas e innovadoras con prospectiva transformación del contexto sociocultural.

Palabras clave: Calidad educativa, Desarrollo de territorios, Educación Superior, Etnografía, Modelo colaborativo, Ruralidad.

ABSTRACT

The design of a model for collective construction for rurality aims to make visible the relevance and quality of education at different level. This includes the participation of specialized and nonspecialized social actors, giving an account of the steps followed to develop a collaborative model of rural higher education of the Northeast of Antioquia. In addition, it includes higher education institutions in the

region, which come together to develop, in the first phase, a diploma course, where appropriate, the definitions and conceptualize the relevance of educational models. In the second phase, short courses are developed with the implementation of trends, and approach to the sociocultural context that will lead to the model and adaptability. Interrelating culture, development and significance in context, wealth of behaviors with an exploratory methodology (qualitative), with the aim of improving conditions of affordability, coverage and educational quality, from the range of social realities. In the third phase, a collaborative model based on modules is built within the framework of a flexible curriculum and sociocultural alternative that tends towards the reconstruction of social fabric. In conclusion, the model for the collective construction of knowledge for rurality is designed collectively proposing flexible curricula, creative and innovative didactic with prospective transformation of sociocultural context.

Keywords: Collaborative model, Educational quality, Ethnography, Higher education, Rural education, Territorial development

INTRODUCCIÓN

El modelo para la construcción colectiva de conocimiento para la ruralidad hace referencia a la articulación de un grupo de universidades antioqueñas, que propenden por el desarrollo de los territorios del nordeste antioqueño, mediante el reconocimiento del saber y la implementación del conocimiento, acorde con las necesidades y expectativas de sus habitantes. Es una propuesta que permite reflexionar, sobre las características rurales, dinámicas socioculturales y visión prospectiva de su propio desarrollo, el cual, según Landini (2015) se define como un espacio en el cual, aunque hay

interacciones socioculturales, le es atribuida una condición adversa, en términos de desarrollo y calidad de vida.

En este sentido, la ruralidad pasa de ser una desagregación, en donde se polariza lo urbano y lo rural a una designación de globalización, que incide en las formas en que se vinculan los territorios desde los ámbitos económicos y socioculturales, más allá de sus límites geopolíticos (Torres, 2008). Así mismo, el objetivo que propone la nueva ruralidad en América Latina muestra la complejidad de las comunidades y

cómo estas se definen y consolidan (Carton de Grammont 2008, p. 34). El modelo para la construcción colectiva de conocimiento para la ruralidad, nacido de la intervención en el nordeste antioqueño por Instituciones de Educación Superior, identifica, a través de la interacción *in situ*, la forma de habitar el territorio desde lo social, económico, cultural, educativo y productivo, siendo estas interacciones, las que definen las transformaciones plurivalentes

de la nueva ruralidad (Méndez, 2015).

Es así como el modelo, desde el área educativa, propende por la inclusión solidaria, un currículo flexible, experiencias didácticas creativas e innovadoras, que transforman el territorio, al igual que brinda accesibilidad, a través de las tecnologías de la información y la comunicación como elementos vinculantes a los entornos regionales, nacionales e internacionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

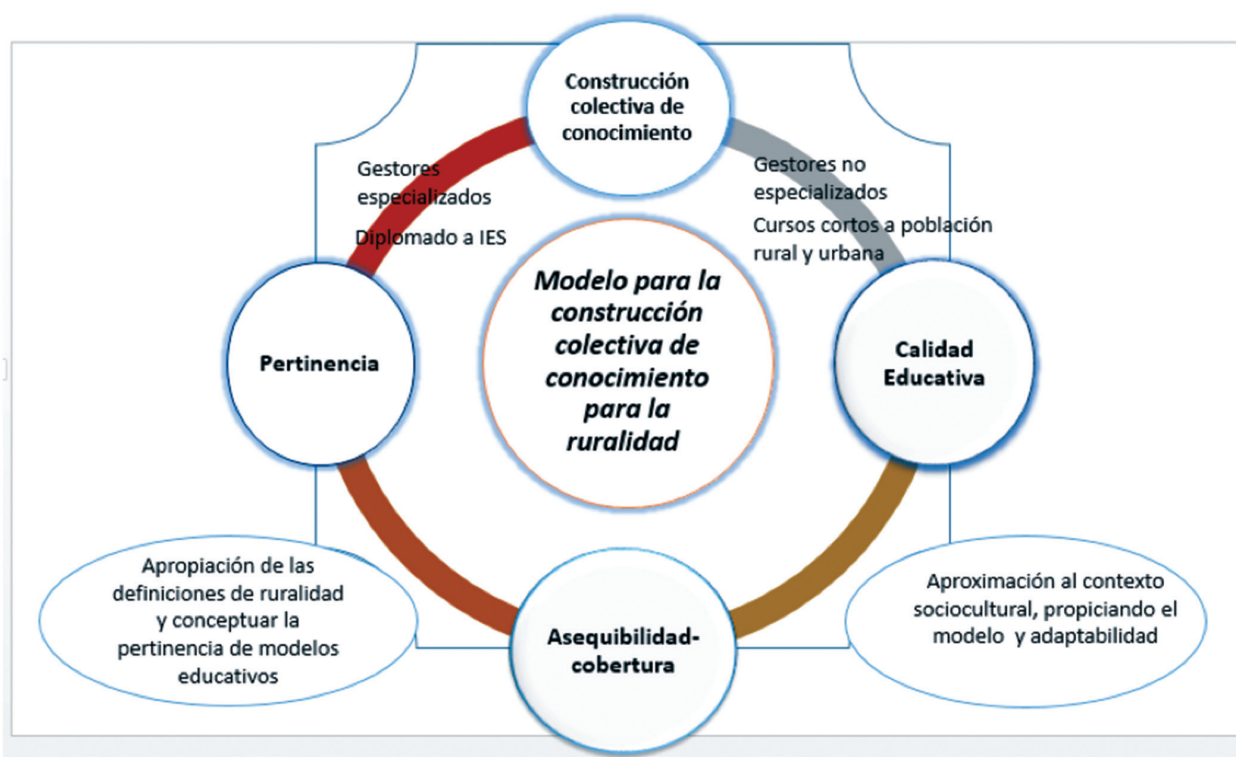


Figura 1. Contextualización metodológica.

El modelo para la construcción colectiva de conocimiento para la ruralidad se construye en las siguientes fases: 1) se identifica la pertinencia de un modelo, por medio de cursos cortos a población rural y urbana; 2) Se realiza una construcción colectiva de conocimiento en la cual actúan los gestores especializados a través del diplomado *Modelo colaborativo*

en educación superior rural y los no especializados por medio de cursos cortos con oferta diversificada en áreas académicas y funcionales; y 3) se propicia el diseño del modelo en la identificación del contexto sociocultural, desde la calidad educativa, asequibilidad-coertura y pertinencia.

En este mismo sentido, Malinowski (1984), explica que los métodos están conectados desde la experiencia, el conocimiento, la creatividad y la etnografía para allegarse a procesos estratégicos; es así como, mediante el método etnográfico, se interpretan las identidades y tradiciones propias de ocho (8) municipios del nordeste antioqueño (Colombia), sus niveles de desarrollo: económico, educativo, social y cultural; al igual que la participación de expertos en pedagogía, ruralidad, mediaciones digitales y modelos de educación superior, en el marco de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y el Ministerio de Educación Nacional (MEN), igualmente, se desarrolla la capacitación teórica institucional, se realiza la intervención *in situ*, en estas subregiones, mediante la cual se propicia la inquietud por el saber en sus habitantes.

En este sentido, se define el concepto de ruralidad como una hibridación de saberes y conocimiento en un contexto sociocultural que se vincula, desigualmente, a la globalidad tecnológica, económica y productiva, transformando paulatinamente la infraestructura de los territorios; es así, como, la ruralidad se caracteriza por su vocación agrícola, pecuaria, minera o turística y determina una tendencia a ejercer una u otra labor. Igualmente, influye desde su esencia (naturaleza), sobre el quehacer diario; difiere, también, en los índices de ocupación de la tierra; en este

mismo sentido, se presenta una tendencia a la homogenización sociocultural, actitudinal y comportamental de los habitantes; su movilidad tiende a heredarse, su integración social es limitada y no tienen marcados condicionamientos de estratificación.

En cuanto a la globalización y su relación con los territorios rurales, la OCDE evidencia que hay un incremento en la competitividad, a la vez que se incorporan biotecnologías, biogenética, entre otras tecnologías; consecuentemente, se modifican y flexibilizan la producción y la interacción entre los sectores (OCDE, 1996).

Se seleccionan municipios geográficamente representativos del nordeste antioqueño, teniendo en cuenta la cobertura de instituciones de educación media, rurales y urbanas, interviniendo a una población de 2.627 estudiantes, habitantes de ocho (8) municipios, con la implementación de cursos cortos, a los cuales se convoca la población a través diferentes mediaciones: mixtas (presencialidad y mediación digital) y a distancia con apoyo presencial, periódico.

La Tabla 1, denominada "implementación de cursos cortos en el nordeste antioqueño", muestra las instituciones, los municipios y los estudiantes rurales y urbanos atendidos mediante cursos cortos, como parte de la aproximación a la construcción del modelo.

Tabla 1. Implementación de cursos cortos en el nordeste antioqueño

Instituciones de educación superior	Estudiantes rurales y urbanos	Municipios (número)	Municipios (nombre)
Institución Universitaria de Envigado	582	2	Carolina del Príncipe, Amalfi,
Universidad de Antioquia – Corporación para el fomento de la educación superior – Fundación Universitaria IUE	750	8	Amalfi, Anori, Carolina del príncipe, Gómez Plata, Guadalupe, Remedios, Segovia, Yolombó
Escuela Superior Tecnológica de Artes Débora Arango	759	6	Segovia, Remedios, Gómez Plata, Anorí, Amalfi, Yolombó
Institución Universitaria Pascual Bravo	386	3	Anori, Guadalupe, Gómez Plata
Institución Universitaria Politécnico Jaime Isaza Cadavid	150	2	Yolombó, Anori
2.627			

Fuente: informe de ejecución de cursos cortos en el nordeste antioqueño, 2018

Con la formación teórica realizada a los participantes de las Instituciones de Educación Superior, se focaliza la acción en aspectos como los modelos pedagógicos, la política pública, la normativa estatal relacionada con la educación en el país, limitaciones y prospectiva de la educación en Colombia, y la convivencia con el contexto, condiciones y características en el nordeste antioqueño, entre otras temáticas; a través de las sesiones de formación a la población rural y urbana, se indaga, desde la lectura teórica y del contexto, los lineamientos del modelo para la construcción colectiva de conocimiento para la ruralidad.

Finalmente, se propone un modelo para la construcción colectiva de conocimiento para la ruralidad, dando respuesta a las necesidades y expectativas de los territorios del nordeste antioqueño.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Colombia, en el área rural acoge el 31.6% (Figura 1) de la población total en el país; siendo una cobertura amplia complejiza su comprensión tanto en términos de geolocalización como de desarrollo; dentro de la lógica de los últimos tiempos, lo rural se ha constituido en un problema sectorial y agropecuario, dejando una percepción de que se tiene más ruralidad que institucionalidad (PNUD, 2011)

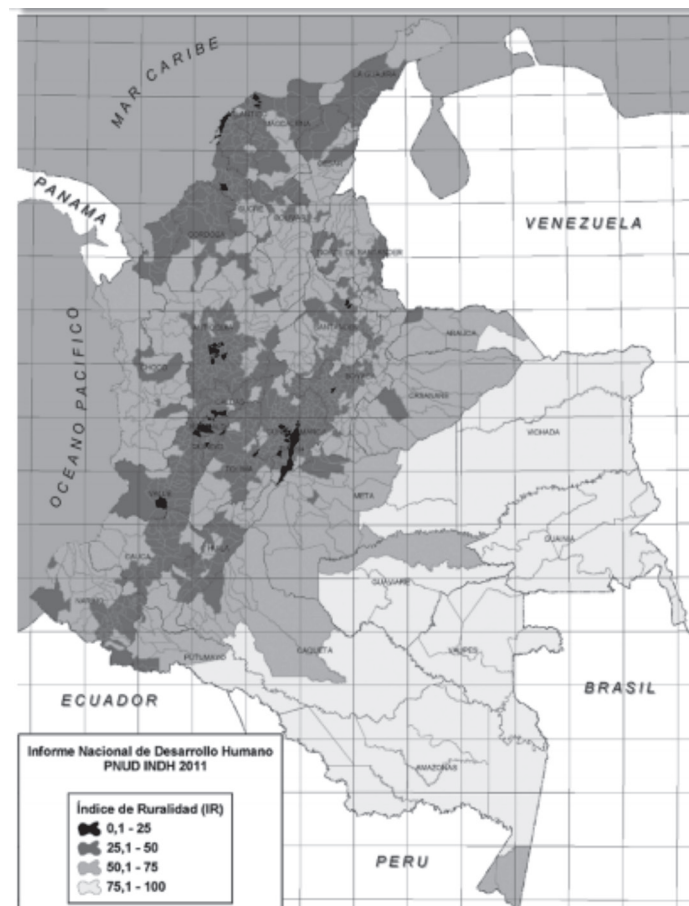


Figura 2. Mapa sobre la ruralidad en Colombia.

Fuente: Cálculos indh 2011, a partir del Censo DANE 2005.

En correlación, el informe *Objetivos del Milenio* (ODM), evidencia que la educación media es 2,7 veces menor que en las áreas urbanas y se exalta la necesidad de implementar y fortalecer la cobertura de esta educación media, en las áreas, identificadas como de alta ruralidad.

LA OCDE Y LA EDUCACIÓN PARA LA RURALIDAD

La OCDE (2017), en su informe sobre las Políticas Nacionales de la Educación en Colombia, expone que entre el 2000 (36 %) y el 2013 (45 %), Colombia tiene un incremento del 9 % de niños matriculados, sin embargo, permanece muy por debajo del incremento promedio en los países miembros de la OCDE, con un 84 %; resultados a los que coadyuvan la

educación gratuita, mejoramiento en la infraestructura y recursos propios y pertinentes para la educación. En éste mismo período, se presenta un incremento del 11 % en las tasas netas de matriculados en la educación básica secundaria y de un 11 % en la educación media, mientras que en la educación superior se incrementan en un 24 % (OCDE, 2012).

Partiendo de las Políticas de calidad en la educación, en informe visibiliza los contrastes para el acceso a la educación: un estudiante ubicado en un estrato socioeconómico uno (1), solo tiene expectativa de permanecer en sus estudios por seis (6) años, mientras que un niño en estrato seis (6), podría permanecer el doble del tiempo, según la encuesta

demográfica y de salud de Colombia (García Villegas *et al.*, 2013; UNESCO-UIS, 2015). En éste mismo sentido, se observa que la situación socioeconómica es un factor determinante del desempeño escolar en Colombia, según las evaluaciones nacionales e internacionales (Barrera, 2014; García Villegas *et al.*, 2013).

En conclusión, las áreas rurales (43 %) se caracterizan, por tener un índice de pobreza con un 16 % mayor al índice del área urbana con un 27 %, (CIPi, 2013), así mismo, las comunidades indígenas y afrocolombianas, que viven en los territorios rurales, no pueden acceder a la educación (Barrera, 2014) y tampoco, accede, el 62 % de los adolescentes a la educación media. En cuanto a la capacidad instalada, es insuficiente y un docente atiende entre 40 y 50 estudiantes por grupo, dificultando la formación de calidad; cuando el promedio internacional es entre 16 y 19 estudiantes por docente.

COLOMBIA Y LA EDUCACIÓN PARA LA RURALIDAD

En Colombia, según la Dirección de Fomento del MEN, el 62 % de estudiantes no terminan su educación media, mientras que aproximadamente 2,5 millones, no les ha sido posible acceder a la educación universitaria. Así mismo, el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018, propone la disminución en la inequidad con la visión de ser el país más educado en Latinoamérica en el año 2025 (DNP, 2015) implementando políticas y estrategias, como ampliación de cobertura y mejoramiento de la calidad, jornada única, articulación de los niveles educativos, atención integral y de primera infancia, mejoramiento de la educación en la básica primaria y secundaria, incremento en el acceso y la calidad de la educación, entre otras.

Igualmente, Colombia proyecta mejorar las condiciones de calidad, cobertura y eficiencia

en los procesos relacionados con la educación tanto para el área urbana como la rural. En este sentido, Herrera (2015), expone la metodología de Escuela Nueva y el Proyecto de Educación Rural (PER), las cuales han sido empleadas en la educación básica en los territorios rurales. Es así como las estructuras de base tienen un rol vital en la reconfiguración de las propuestas educativas en y para la ruralidad, teniendo presente sus características contextuales, sus necesidades y expectativas. En este sentido (Barbero, 2001) enfatiza que la articulación los conceptos subyacentes a la ruralidad con lo identitario y con las dimensiones del territorio desde lo social, lo ancestral y desde su acervo cultural.

CURRÍCULO Y RESPUESTA A LOS CONTEXTOS RURALES

Los territorios rurales tienen sus propias dinámicas que orientan el diseño de currículos satisfaciendo las necesidades y expectativas de sus habitantes, como respuesta a los problemas propios de determinado contexto, apoyando el desarrollo educativo de la región (Sepulveda & Gallardo, 2015), lo que implica estrategias didácticas y pedagógicas, que permitan fluir una formación pertinente, resignificando saberes y conocimiento con la intención de transformar dicho territorio.

MODELO PARA LA CONSTRUCCIÓN COLECTIVA DE CONOCIMIENTO EN LA RURALIDAD

El modelo se define como la estructura sistémica, en el que las interacciones dinamizan las intencionalidades, operacionalización y auto-evolución de propuestas en este caso, formativas, respondiendo a problemáticas con potenciales soluciones individuales y colaborativas.

El modelo elaborado colaborativamente, entre las instituciones de educación superior antioqueñas, tiene en cuenta los principios de:

- **Contextualización:** mediante el cual se atienden las problemáticas específicas del territorio, lo que se instala el ejercicio de formación,
- **Integración:** como el desarrollo interdependiente entre la comunidad y su territorio,
- **Flexibilidad:** en una dinámica transformadora se presenta una propuesta dialógica, crítica y argumentada bajo criterios propositivos en y para la formación,
- **Transversalidad:** se constituye en una estrategia de aprendizaje-enseñanza o una pregunta, que se convierten en gestores de conocimiento a través de métodos o prácticas,
- **y Creatividad:** como respuesta al desarrollo de la propuesta formativa, tanto desde su génesis como en su desarrollo, basados en el uso de modelos pedagógicos, didácticos, medios y mediaciones digitales.

El currículo, la pedagogía y los sistemas evaluativos, como los pilares clásicos de la educación, se incorporan a las políticas regionales,

nacionales e internacionales con la pretensión de resolver, en la teoría y en la práctica, los problemas que se presentan tanto desde la expectativa como desde la necesidad del contexto. En este mismo sentido, y en la era digital, el problema no es la accesibilidad a fuentes de fundamentación teórica, sino su pertinencia; esta permite conceptualizar y definir con precisión la intencionalidad transformadora de sus estrategias, modelos, enfoques e interrelaciones multidireccionales.

Dentro de las políticas regionales, se plantea el incremento y la calidad en la educación para los docentes rurales, proyectos pedagógicos productivos, reducción de la brecha en la educación, ampliación de cobertura e implementación de tecnologías de la información y la comunicación integrada a la educación. La tabla 2 evidencia, la meta del plan de desarrollo del nordeste antioqueño – 2019.

Tabla 2. Metas sobre investigación y producción de conocimiento de punta

Indicador de Resultado	Nombre del Programa	Indicador de Producto	Unidad	Meta del Cuatrienio (2016-2019)	Dependencia Responsable
Tasa de cobertura neta en educación media Rural	Educación para la nueva ruralidad	Planes de estudio ajustados a la vocación productiva territorial	Número	300	Secretaría de Educación
		Programas para la formación técnica, tecnológica y de desarrollo humano diseñados y ejecutados en la educación Media Rural.	Número	135	
		Instituciones educativas fortalecidas desde la Escuela para el desarrollo Agroindustrial en el Departamento	Número	9	
		Proyectos Pedagógicos Productivos (PPP) implementados con estudiantes de Instituciones Educativas Rurales.	Número	135	

Nota: En la zona rural operan 270 instituciones educativas (niveles de Preescolar-Básica y Media), 159 centros educativos rurales (hasta la Básica Secundaria) y 3.275 sedes educativas (preescolar y básica primaria, reorganizadas en una institución educativa o centro educativo).

Fuente: Plan de Desarrollo del Nordeste Antioqueño.

A partir de los antecedentes y de la integración de las Instituciones de Educación Superior para la elaboración del modelo de construcción colectiva de conocimiento para la ruralidad, y teniendo en cuenta que la realización de los cursos cortos en el nordeste convocó y cualificó 2.627 personas en áreas como inducción a la vida universitaria; ortografía para docentes y público en general; y robótica, entre otros. Es una propuesta en la que la participación cooperativa se articula en el proceso y en el desarrollo del modelo, flexibilizando creativamente desde las especificidades de cada Institución y reflexionando sobre el desarrollo del territorio, de tal modo los principios del modelo cimienten y fortalezcan el aprendizaje; en este sentido Wilson (1992) propone que

[...] la dinámica del trabajo cooperativo y colaborativo siempre estará inmersa en la formación del hombre [y de la mujer], para desarrollar y cultivar sus facultades como ser comunicativo [dialógico]...La cooperación y la colaboración están centradas en la actividad humana, como unidad mínima de ejecución con significado la cual es resultado de la acción de una persona y de su interacción con otras. Estas actividades se realizan para conseguir un objetivo usando una serie de herramientas, y todo ello, dentro de una comunidad de aprendizaje inmersa en una historia cultural. pág. 129

Desde un enfoque crítico social, valorando los aspectos socio-culturales por su carácter colaborativo, se plasma en el modelo para la construcción colectiva de conocimiento para la ruralidad, consolidando la participación y las mediaciones pertinentes de acuerdo a las posibilidades del contexto; en cuanto a la innovación, el modelo flexibiliza los procesos de formación y da cabida a la investigación y el recorrido por las fuentes de conocimiento, a lo que Monguet y Fábregas (2006) expone que:

[...] para difundir conocimiento se requiere la voluntad de un grupo o individuo para trabajar con otros y compartir conocimiento a su mutuo beneficio. Esto significa que la transferencia no ocurrirá en una organización a menos que sus integrantes y grupos de trabajo muestren un alto nivel de comportamiento cooperativo. Se encontró que las habilidades cognitivas de las personas y su disposición a cooperar determinan la eficiencia y calidad de su desempeño en las tareas que realiza en un grupo u organización. Generalmente un individuo colabora en tres niveles, de menor a mayor: Cooperación en el trabajo, difusión de los recursos (información, conocimiento y servicios), y cooperación cognitiva. En el primer nivel, los miembros de un equipo implementan sus tareas de acuerdo con el plan de tareas programadas del grupo. En el segundo nivel, los miembros del grupo se comunican para compartir información basada en un modelo de distribución definido. En el último nivel, las personas del equipo aprenden una de otra, hacen abstracciones, analogías entre problemas, y utilizan la experiencia del pasado y habilidades para resolver nuevos problemas. pág. 134

En este sentido, el aprendizaje significativo se reelabora en la medida en que se da una maduración teórica, cada vez más exigente sobre sí mismo y en relación con los grupos en que se interactúa, favoreciendo la autonomía. Es así como el modelo fundamenta la autorregulación en el proceso de formación a través de estrategias para el aprendizaje; acciones para mejorar la comprensión teórica en permanente evaluación-solución; incorporación de fortalezas psicoafectivas al currículo; identificación de focos problemáticos y sus subterfugios; y, finalmente, la elección de sistemas de seguimiento y evaluación de los procesos.

Son las condiciones del contexto las que validan el modelo desde su interacción, en la

solución de las problemáticas, involucrando la creatividad y la autogestión. Del mismo modo, en el marco del contexto pedagógico se adscribe un grupo de docentes que trabajan estrategias aplicadas a los procesos de aprendizaje-enseñanza enmarcados en los currículos. En cuanto al estudiante, propone una interacción colaborativa en su ejercicio de aprender y la producción de conocimiento se hace desde la colectividad, teniendo las mediaciones digitales como dinamizadores de su gestión y calidad.

El diseño, concibe a los sectores sociales, culturales, económicos, educativos, entre otros, como los gestores que participan y dan sostenibilidad a dicho modelo; y son los contenidos diseñados como módulos interdisciplinarios e interdependientes, los que dan cuenta del diseño curricular, para la cualificación de sus habitantes y la solución de sus problemas, obteniendo una respuesta a las necesidades y expectativas que les son propias y útiles en su contexto, cuya solución se indaga teórica y contextualmente.

CONCLUSIONES

Es la permanente formación de docentes y estudiantes la que, desde una lectura de contextos, propone modelos de desarrollo para los territorios, reduciendo la brecha académica entre áreas rurales y urbanas, y dando paso al uso de las tecnologías de la información y la comunicación dentro de una globalidad, en una articulación de sinergias que propende por el cambio sostenible en la formación, tal cual lo plantea Hargreaves y Flink (2006): preservación invariante en todo aprendizaje; motivación cotidiana mediante el liderazgo y acompañamiento; una transformación en los aprendizajes; impacto en el territorio mejorando las condiciones de habitabilidad; y coherencia pedagógica mejorando los currículos y adecuándose al progresivo desarrollo de los territorios.

La construcción colectiva de los saberes, a través de los desarrollos de los gestores especializados en el diplomado *Modelo colaborativo en educación superior rural* y los gestores no especializados a través de los cursos cortos, proponen soluciones a las problemáticas del contexto sociocultural por medio de evaluación-solución y autogestión.

El modelo para la construcción colectiva de conocimiento para la ruralidad se caracteriza por ser inclusivo, flexible en su currículo, propende por la consolidación de experiencias didácticas, creativas e innovadoras, transformando el territorio desde una perspectiva que le es natural, propia e interdisciplinar.

AGRADECIMIENTOS

Por el compromiso institucional que facilitó el desarrollo del Modelo para la construcción colectiva de conocimiento para la ruralidad, a: institución Universitaria de Envigado, Universidad de Antioquia, Corporación para el Fomento de la Educación Superior, Fundación Universitaria IUE, Escuela Superior Tecnológica de Artes Débora Arango, Institución Universitaria Pascual Bravo, Institución Politécnica Jaime Isaza Cadavid, Empresas Públicas de Medellín.

LITERATURA CITADA

- Barbero, J. M. (2001). *Reconfiguraciones comunicativas de lo público*. Análisis No. 26, 22-35.
- Carton de Grammont, H. (2008). *El concepto de nueva ruralidad*. Editorial Pontificia Universidad Javeriana, (1ª edición). P.p-27.
- García, M, Espinosa, J, Parra, J (2017). *Separados y Desiguales*. Derecho, Justicia y Sociedad.
- Hargreaves, A. Fink, D (2006). *Estrategias de cambio y mejora en educación caracterizadas por su relevancia, difusión y continuidad en el tiempo*. *Revista Educación* 339. 43-58.
- Herrera, L, Buitrago, R. (2015). *Educación Rural en Boyacá, fortalezas y debilidades desde la perspectiva del profesorado*. Portal de Revistas UPTC, (4ª edición).

- Landini, F. (2015). *Hacia una Psicología Rural Latinoamericana*. Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales (CLACSO).
- Malinowski, B. (1984). *Una Teoría Científica de La Cultura*. Editorial Suramericana.
- Méndez, M. (2015). *Ocupación rural no agrícola y desarrollo rural local: reflexiones y aportes para una articulación efectiva*. Interacciones Campo Grande, p.p-316-325.
- Monguet, J. M. (2006). Efecto del blended learning sobre el rendimiento y la motivación de los estudiantes. *Interciencia*, pp.190-196.
- OCDE. (2012). *Evaluación de Políticas Nacionales de Educación: La Educación Superior en Colombia*. OCDE Publishing.
- Pérez, E, Farah, M, Cartón de Grammont, H. (2008). *La nueva ruralidad en América Latina. Avances teóricos y evidencias empíricas*. Editorial Pontificia Universidad Javeriana p.p-23-44.
- PNUD. (2011). *Colombia rural: Razones para la esperanza*. Bogotá: INDH.
- Sepúlveda, M., & Gallardo, M. (2015). *La escuela rural en la sociedad globalizada: nuevos caminos para una realidad silenciada*. Profesorado: Revista de currículum y formación del profesorado. Volumen 15, 23-45.
- Torres, L. (2008). *Nueva ruralidad en territorios*. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET), p.p-201-250.
- UNESCO-UIS (2015). *Browse by theme: Education*, Data Centre, UNESCO Institute for Statistics.
- WILSON, J. D. (1992). *Cómo valorar la calidad de la enseñanza*. Madrid: Paidós, Iberica.

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.

COMPORTAMIENTO DE FORRAJEО EN NUTRIAS GIGANTES (*Pteronura brasiliensis*), UN ESTUDIO DE CASO EN SANTA ROSA DE SAPUARA, DEPARTAMENTO DE GUAINÍA, COLOMBIA

FORAGING BEHAVIOR IN GIANT OTTERS (*Pteronura brasiliensis*), A CASE STUDY IN SANTA ROSA DE SAPUARA, DEPARTMENT OF GUAINÍA, COLOMBIA.

¹ **Engelbert Chavez-Fontecha**, ² **Myriam Janeth Ortega Torres**,
³ **Jose Camilo Torres Romero**

¹ Lic Biología, Candidato a Msc U Externado de Colombia Der Activo.

² Msc Producción animal, estudiante doctorado Biología Molecular y Biomedicas- Universidad del País Vasco- UNAD.

³ Doctor en Bioquímica. UNAD.

¹ engelbert.chavez@est.uexternado.edu.co

² myriam.ortega@unad.edu.co

³ jose.torres@unad.edu.co

RESUMEN

El comportamiento alimenticio en la nutria gigante (*Pteronura brasiliensis*) ha sido descrito por varios autores, sin embargo, la manera coordinada en que la nutria participa en la caza y obtiene su alimentación, aún no se ha estudiado en detalle. Este trabajo sistematiza la información de observaciones realizadas sobre el comportamiento de caza de *Pteronura brasiliensis*, en la laguna del Sapuara en el departamento de Guainía, Colombia, y permitió describir la caza como un comportamiento cooperativo y altamente organizado. Se realizó un estudio del comportamiento de caza a través de observaciones *ad-libitum*, desde

rocas y árboles de 10 a 20 metros de altura con un rango de visión horizontal de 110°, los parámetros analizados fueron: estrategia de caza, tipo de orilla, tiempo invertido en la caza, número de nutrias activas (nutrias que participaron en la caza), profundidad, condiciones climáticas, y efectividad de la caza. En total se observaron 11 comportamientos cooperativos de caza distintos, los cuales se pudieron agrupar en tres grupos: Punta de flecha, filas y corraleo. El más frecuente de todos los observados en faenas de cacería fue punta de flecha con un porcentaje de 38 %, con un número promedio de 7 nutrias participando de

la caza y con un porcentaje de éxito de hasta el 87 %. Este es un nuevo instrumento para abordar el estudio del comportamiento de la nutria gigante desde la perspectiva cooperativa de caza.

Palabras clave: *Pteronura*, forrajeo, cooperación comportamiento y Guainía-Colombia.

ABSTRACT

The feeding behavior in the giant otter (*Pteronura brasiliensis*) has been described by several authors, however, the coordinated way in which the otter takes part in the hunting and obtains his feeding, has not been studied in detail. This paper systematizes the information of observations on the hunting behavior of *Pteronura brasiliensis*, in the Sapuara lagoon in the department of Guainía, Colombia, and allowed to describe hunting as a cooperative and highly organized behavior. This behavior

has been studied through *ad-libitum* observations, from rocks and trees of 10 to 20 meters high with a horizontal viewing range of 110°. Some of the parameters analyzed were fishing strategy, type of shore, time spent on fishing, number of active otters (otters that participated in the fishing), depth, climatic conditions, and effectiveness of hunting. In the end, 11 cooperative fishing behaviors were observed, which were classified into three groups: Arrowhead, ranks and rounding. The most frequent of all those observed in farm work was arrowhead with a percentage of 38 %, with an average number of 7 otters participating in the hunt and with a success rate of up to 87 %. This is a new instrument for the approach of the study of the behavior of *P. brasiliensis* from the cooperative perspective of hunting.

Key words: *Pteronura*, fishing, cooperation behavior and Guainía-Colombia

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la sociabilidad entre las especies ha sido determinado por la relación costo beneficio (Alexander 1974). El establecimiento de grupos sociales entre animales incrementa la competencia intraespecífica por recursos o posibilidades reproductivas (Alexander 1974; Blundell, Ben-David y Browyer 2002) (Blundell, Ben-David, Groves, Browyer, y Geffen 2004). Considerando que pueden presentar beneficios como la evasión de depredadores, defensa de territorio, obtención de alimento, entre otros (Alcock, 1993) (Blundell, Ben-David, y Bowyer, 2002).

La organización de animales desde la perspectiva cooperativa es una estrategia que ha generado condiciones favorables para la supervivencia de especies a lo largo de la evolución, especialmente en carnívoros (Kruuk 2006).

Dentro de los comportamientos sociales en las nutrias se describen individuos solitarios (*Lutra lutra* en ambientes marinos) (Kruuk y Moorhouse, 1991); pares monógamos (*Lontra felina*, Ostfeld *et al.*, 1989); reuniones familiares (*Lutra maculicollis*) con variación interespecífica de la socialidad grupal; grupo familiar (*Lontra canadensis*, Melquist y Hornocker, 1983), y *Aonyx capensis* (Arden-Clarke 1986); y familias extendidas (*Pteronura brasiliensis*, Kruuk 2006).

Pteronura brasiliensis, comúnmente conocida como nutria gigante, es un mamífero, semiacuático especializado y gregario (Kruuk, 1995 y Álvarez-León, 2009), y como otros grupos sociales como los cánidos (Creel & Creel, 1995 y Bohórquez, 1994), presenta una organización social definida con una pareja alfa

(Evangelista, 2004) y una vinculación social de individuos genéticamente interrelacionados. La nutria gigante es una especie oportunista (Gómez, 2004), que permite mantener una gran diversidad de especies de peces (Velandia y Vásquez, 2015). Cuando ellos cazan, buscan individuos menos sanos y fáciles de atrapar, que mejoran y equilibran las poblaciones de los peces que se alimentan (Portocarrero, Morales, Díaz y Millán, 2009). En nutrias en cautiverio, se demostró que las nutrias eligen sus presas por su vulnerabilidad (Mason & Macdonald, 2009).

Por lo anterior, y evidenciando que la viabilidad del alimento no es un estado o condición fija en la naturaleza, sino presente como un fenómeno dinámico que depende de muchos factores ambientales individuales e interconectados, se propuso como objetivo en el desarrollo de esta investigación establecer si el número de individuos en una población de nutrias gigantes (*Ptenoura brasiliensis*) tiene relación con las actividades de forrajeo, y si las nutrias presentan comportamientos cooperativos para desarrollarlas, además de establecer cómo estas influyen en la eficiencia al obtener alimentos, partiendo de “comprender la relación entre las nutrias y su alimento” (Kruuk, 2006) y de ello “considerar interacciones reales entre nutria y pez” (Kruuk, 2006).

Uno de los alcances del presente artículo es proporcionar nuevos elementos a la interacción antes mencionada, que permitan mejorar la gestión y conservación de los hábitats naturales de esta especie actualmente en peligro (EN) por la UICN (Groenendijk, Duplaix, Marmontel, Van Damme & Schenck, C. 2015; Trujillo; Botello & Carrasquilla 2006), ya que la nutria gigante interactúa con los humanos y mantiene la diversidad íctica (Velandia &

Vásquez, 2015) importante para el bienestar de las poblaciones humanas con las que comparten los ecosistemas. Por otro lado, esta primera aproximación al comportamiento de *Pteronura brasiliensis* desde la perspectiva cooperativa de caza se convierte en un nuevo instrumento para abordar el estudio del grupo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se realizó en la jurisdicción del corregimiento de Barrancominas, en el departamento de Guainía, ubicado en el sureste de Colombia, entre el río Guaviare y la República Federal de Brasil (Rudas y Prieto, 1998), en la laguna de Santa Rosa de Sapuara (3°23'51'' y 3°40'38''N con 69°57'25'' y 69°20'57''W) (Figura. 1). La ecogeografía del área de estudio pertenece a la selva transicional del Guainía, que se puede encontrar entre los ríos Vichada e Inírida (Domínguez, 1985), con temperaturas que oscilan entre 22° C y 40° C. Su régimen de lluvias es biesacional con cerca de 2,800 mm, siendo los meses lluviosos de abril a septiembre y los meses secos de octubre a marzo (IDEAM, 2012) (Pérez, Bucheli & Giraldo, 2005). En la zona de influencia de estudio se presentan comunidades campesinas e indígenas de puinaves, sikuanis y paipocos principalmente, con una alta dependencia de los recursos naturales especialmente de la pesca, cacería y explotación de suelos asociados a las vegas del río Guaviare para para autoconsumo y una menor proporción comercialización. En la actualidad hacia las ciudades de Villavicencio, departamento del Meta, y Bogotá D.C., del área de influencia de la zona de estudio se explotan cerca de 200 toneladas anuales de pescado, como también cacao silvestre, artesanías, entre otras.

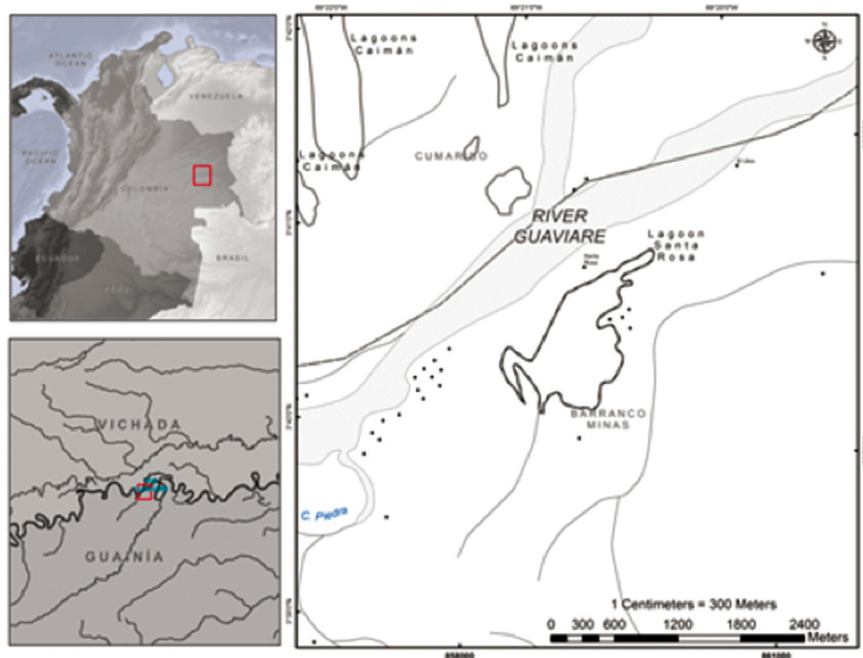


Figura 1. Zona de estudio.

Observaciones

Las observaciones de campo se llevaron a cabo durante dos fases, el primero de marzo de 2007 a enero de 2008, con un tiempo de esfuerzo total de 297 horas. El segundo, entre septiembre de 2012 hasta enero de 2013 y noviembre de 2015, con un tiempo de esfuerzo total de 310 horas. Los datos de comportamiento se realizaron con observaciones ad libitum (Martin y Bateson, 1991; Altmann, 1974). Con base en estas observaciones se analizó, el éxito en la caza (efectivo: éxito de caza individual), el número de nutrias involucradas en la caza y sus roles, el horario de caza y la descripción de la alimentación cooperativa de la nutria gigante. Las observaciones se hicieron entre las 6:00 a.m. y las 11:00 a.m., y entre las 2:00 p.m. y las 5:00 p.m, horas establecidas en la fase preliminar de campo, como de mayor actividad del grupo.

El seguimiento a la especie se realizó desde una canoa de 5 m de largo y 0,4 m de ancho, impulsada por remo, y desde 8 puntos altos como troncos caídos, árboles fáciles de trepar y desde la orilla de la laguna en los

afloramientos rocosos con más de 15 m de altura, con un ángulo de campo visual superior a los 110° y por lo menos un ángulo de 10° con respecto a la horizontal. Estos puntos de observación fueron definidos a partir de un estudio previo realizado en la zona que permitió establecer las áreas de interés en tierra y agua, comportamientos generales del grupo y uso de hábitat. La profundidad se determinó mediante regla calibrada con plomada y el promedio de tres mediciones en cada punto, en las áreas de interés.

Este estudio se realizó en animales silvestres, teniendo en cuenta un mínimo de 50 m de distancia del grupo nutria para no interferir con las actividades de la especie (Mumm, Urrutia & Knörnschild, 2014). De esta manera, el monitoreo desde los puntos de observación se complementó con registros fotográficos utilizando binoculares (Tasco Futura 35x55 mm) y cámaras digitales (lente zoom macro Canon Rebel XT 125-300 una lente Sigma 2x HD y lente macro zoom NIKON 5100 125-300).

La inmersión de forrajeo se calculó utilizando el tiempo de inmersión de cada individuo y la efectividad de la caza, con apoyo en un cronómetro (Casio Hs30w1 / 100 LapMemory 10). La efectividad de la caza se estimó a partir de individuos (identificación de individuos por su marca única de garganta) que obtuvieron presa con respecto al número total de individuos activos en la caza (individuos que participan en la caza).

Análisis estadístico

La estadística descriptiva para cada parámetro analizado se obtuvo utilizando el software R y los resultados se analizaron usando el modelo estadístico Chi-cuadrado de Pearson con $n = 45$ (siendo n el número de eventos en los que el desarrollo de la cooperativa de caza era evidente). Este análisis se realizó con el software R (R versión 3.0.3. (2014-03-06)), para establecer la asociación y correlaciones de variables de alimentación cooperativa (punta de flecha, filas y corraleo), lugar donde se realizó la caza (vegetación sumergida, frente a la costa y aguas abiertas), tiempo invertido en la caza, número de participantes nutrias activas (individuos involucrados en la caza), profundidad de la zona de caza, estación climática (invierno y estación seca) y caza efectiva.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio se desarrolló en dos fases. En la primera fase, el tiempo de contacto alcanzado de la visualización directa de la especie durante las actividades de caza fue de 1.491 minutos y en la segunda fase de 1.150 minutos. La familia de nutrias gigantes de la laguna de estudio estaba conformada por 2 adultos, 3 subadultos, 2 juveniles y 2 crías para la primera fase de campo (9 en total), en la segunda fase se observó un subadulto adicional sin crías (8 en total).

En cuanto al número e integrantes de grupos o familias de las nutrias gigantes existe

consenso con la mayoría de los autores. Evangelista & Rosas (2011) observaron ochenta individuos en Brasil, de las cuales el 88.7% fueron encontradas en 15 grupos de nutrias, siendo el mayor número de individuos un grupo de 9 animales y con un tamaño promedio de 4,46 individuos (Evangelista & Rosas, 2011. pág. 33). Carrasquilla & Trujillo (2004) precisaron en nutrias del Río Orinoco que estos grupos están conformados por una pareja estable (alfa) y una o dos generaciones de hijos (subadultos o juveniles) con tres a nueve individuos (Carrasquilla & Trujillo, 2004, pág. 181). Los hallazgos realizados en la presente investigación concuerdan con el número y características de los integrantes de los grupos de nutrias estudiados por Carrasquilla & Trujillo (2004) y Evangelista & Rosas (2011), al corroborar que la familia de *Pteronura brasiliensis* en la laguna de estudio, está conformada por dos adultos, tres subadultos, dos juveniles y dos crías en la primera fase (9 individuos) y en la segunda fase hasta tres juveniles sin crías (8 individuos).

Uno de los aspectos relevantes en el comportamiento cooperativo es el liderazgo que realiza la pareja alfa, debido a que son estos quienes tienen la experiencia generacional y memoria grupal (Davenport, 2010), que permite el desarrollo efectivo de la caza. La anterior definición de roles robustece el hallazgo de la caza cooperativa a partir de la ejecución de alternativas de captura para la obtención del alimento en nutrias gigantes, haciéndose evidente que la familia de nutrias gigantes de la zona de estudio tiene un alto comportamiento gregario (Kruuk, 2006,) y sus actividades de caza también se rigen por dicho comportamiento de cooperación (Portocarrero et al., 2009).

Se identificó que la pareja alfa lidera los ejercicios de caza, esto se determina porque el macho y la hembra, son quienes siempre van de primeros en la punta del grupo emitiendo

sonidos de forma constante. El macho fue identificado por el tamaño y comportamiento en el momento de cortejo. Se estableció a partir del análisis de número de individuos en el ejercicio de caza, que el tamaño para el desarrollo de la mayoría de las estrategias es $\bar{X}=7$ (Figura.2), siendo este número de individuos importante en el desarrollo de las actividades de caza y comportamientos sociales como la niñera, para el cuidado parental y defensa del territorio entre otros, al igual que en el 93 % de las estrategias de caza identificadas en la laguna de Santa Rosa de Sapuara, el macho y la hembra alfa lideran las actividades caza.

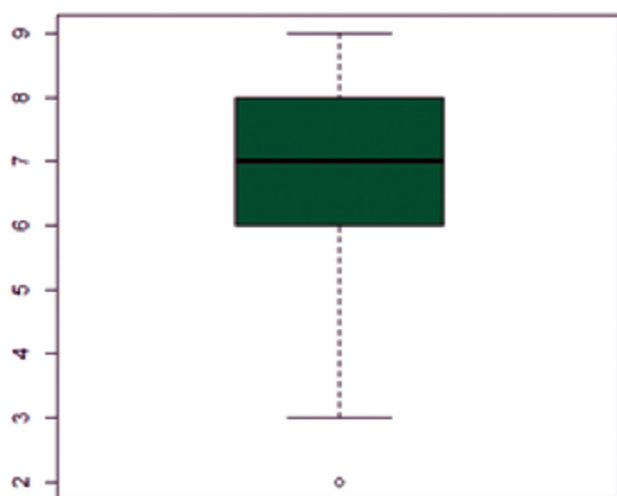


Figura 2. Número de individuos en la caza.

Se evidenció que las crías de nutrias participan en algunas de las actividades de caza, siendo este fenómeno parte de las actividades de aprendizaje a partir de la imitación de algunas conductas de los tutores. El aprendizaje por imitación es reportado por Kruuk (2006) en nutrias, Whiten *et al.*, (1996) en primates, y Maier (2001) en otros ordenes. Este comportamiento social corresponde a

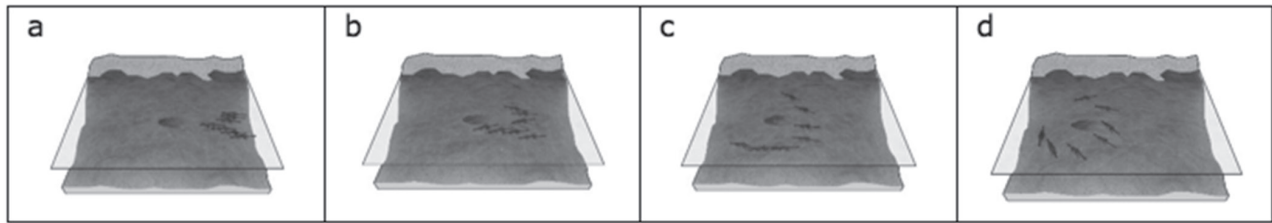
especies zoológicas de vida gregaria, cuya estructura determina o prescribe las relaciones de cada individuo al interior del grupo, y con ello establece una organización que permite a cada uno de los individuos asignarse su lugar dentro del grupo en que se encuentra (Klopfer, 1976) (Figura. 3).



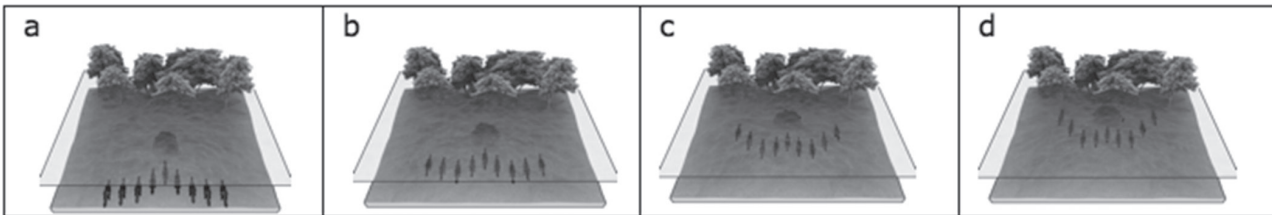
Figura 3. Grupo de caza en aguas abiertas.
Velandia C.

Se encontró que la nutria gigante tiene comportamientos cooperativos de forrajeo ($n=45$), donde las estrategias y el área de caza tienen asociación, encontrando un p -valor= 0 con un nivel de confianza del 90 %. Estas estrategias se agruparon de acuerdo a la forma de organización del grupo al momento de forrajear, en tres tipos:

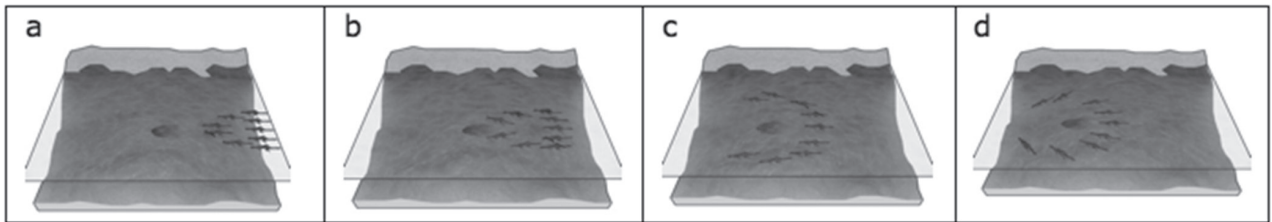
1. Punta de flecha: consiste en la disposición en forma escalonada y triangular de cada uno de los individuos participantes en la práctica, estructura similar a la punta de una flecha (Figura. 4), con una recurrencia del 38%.



Punta Flecha en aguas abiertas.



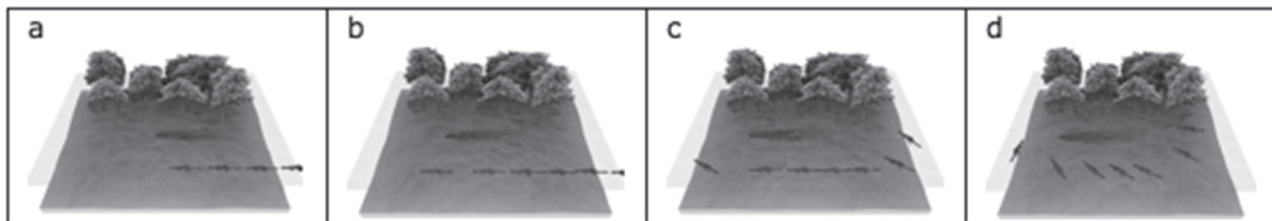
Punta Flecha contra vegetación sumergida.



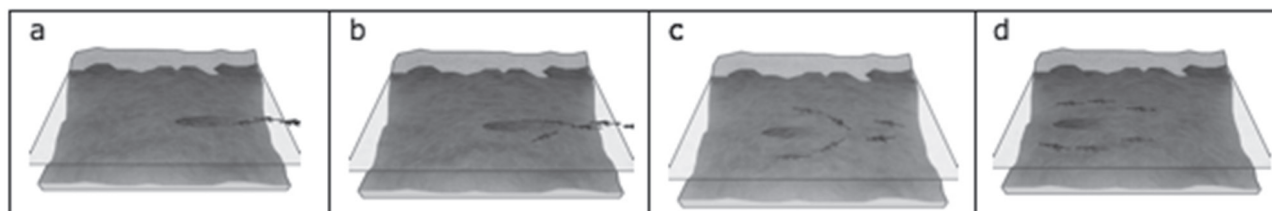
Punta de Flecha 2-2-5, en aguas abiertas.

Figura 4. Forrajeo en Punta de Flecha.

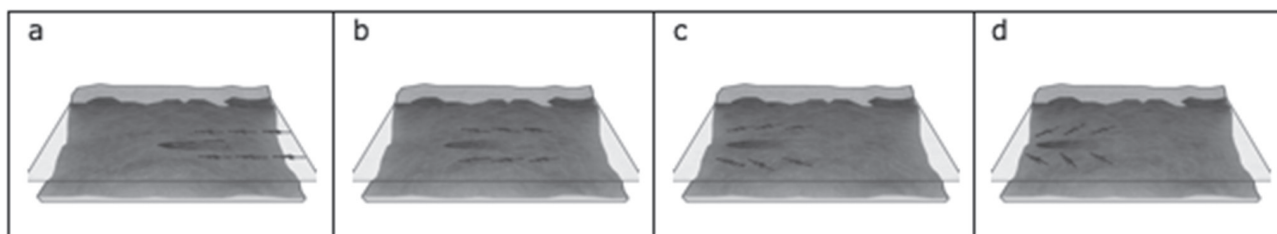
2. Filas: las nutrias se agrupan en líneas paralelas ejerciendo control del cardumen (Figura. 5), en 33 % de las observaciones realizadas.



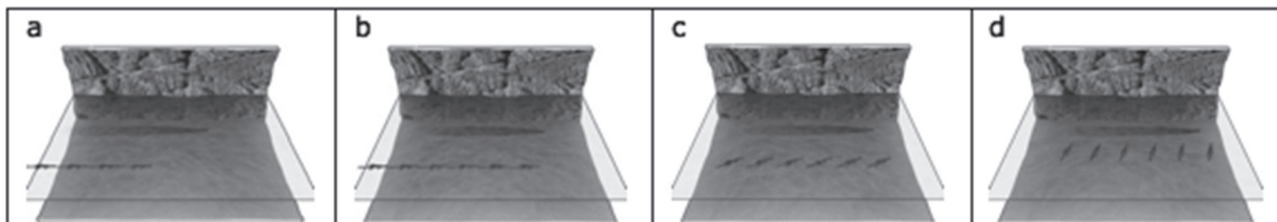
Fila paralela a la orilla contra vegetación sumergida.



Estrategia de cerramiento en "Y" en aguas abiertas



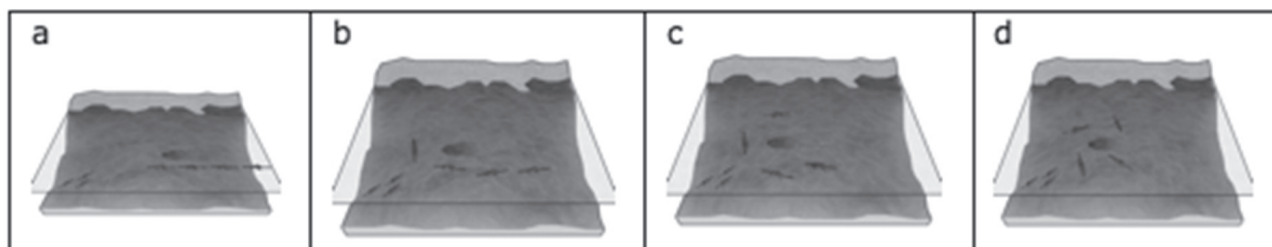
Estrategia de cerramiento con filas paralelas.



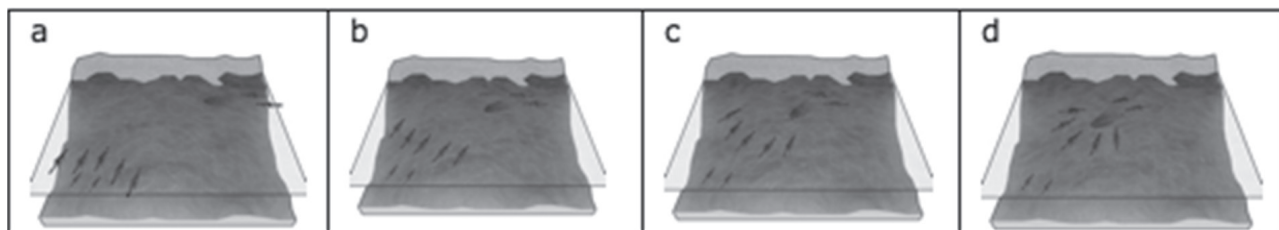
Estrategia en fila paralela a orilla sin vegetación con aguas someras.

Figura 5. Forrajeo en filas.

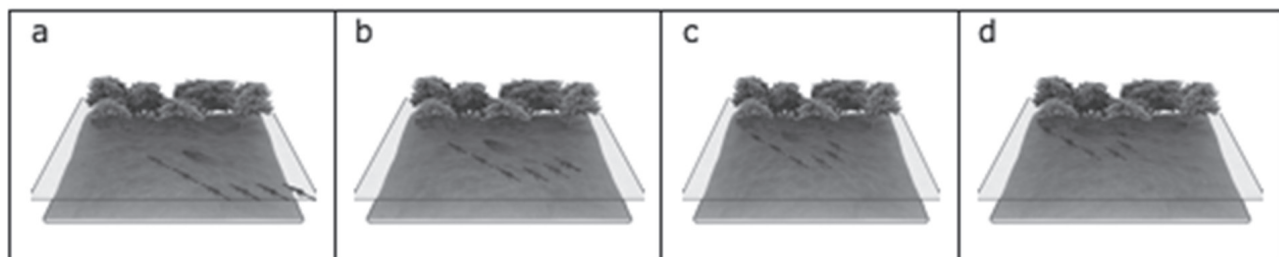
3. De corraleo: el encierro del cardumen que ejecuta el conjunto de individuos participantes en la práctica de caza (Figura. 6), con un 29% de recurrencia.



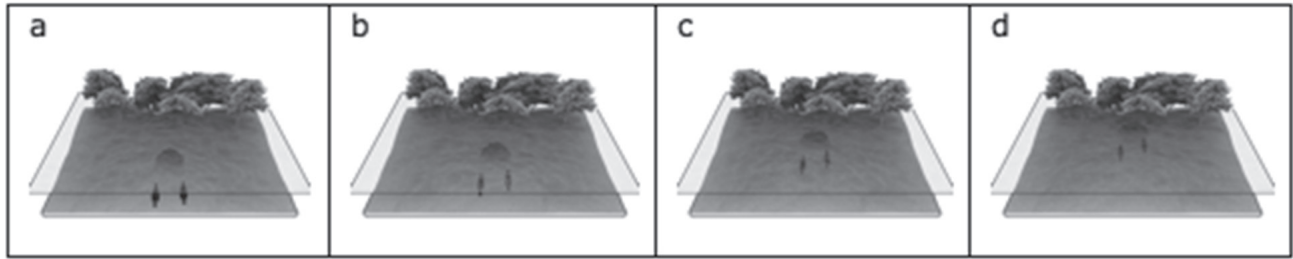
Cerco de cardumen en aguas abiertas.



Corraleo



Corraleo en "L"



Pesca en pareja contra vegetación inundada

Figura 6. Forrajeo en Corraleo.

En cuanto a la captura cooperativa de peces, Staib (2005) señala que "la caza en grupo es característica de la nutria gigante" y estima que la distancia entre los integrantes de los grupos que cazan es generalmente de unos pocos metros. Al igual de lo observado por Hershkovitiz (citado por Duplaix, 1980), quien describe como un grupo de nutrias conduce peces a agua someras. Lo expresado por Staib y Hershkovitiz concuerda con los hallazgos del presente estudio, puesto que se identificaron y detallaron estrategias de caza para optimizar la captura, como se evidencia en algunas fotografías tomadas por otros autores en diferentes estudios confirman que las nutrias gigantes adoptan la formación " punta de flecha", tal es el caso de Duplaix en la fotografía No. 64 en la cual se observa la formación de punta de flecha en aguas abiertas (Groenendijk, Duplaix, Hajek, Schenck & Staib, 2005, pág. 24).

Con respecto a las actividades cooperativas, se presentan debido a que las nutrias usan diferentes elementos para rodear el cardumen. Cuando se presenta la caza en aguas abiertas son los cuerpos de las nutrias, la barrera física que no permite dispersar el cardumen. Al desarrollarse caza contra la orilla o la vegetación, estas se presentan como barreras continuas y se confina el cardumen; además, la vegetación sumergida se presenta como una malla de caza que disminuye el gasto de la nutria para obtener

alimento, razones por las cuales el tiempo de caza tiene una tendencia normal y simétrica explicado en el intervalo de 5 y 15 minutos.

Se evidencia como las nutrias gigantes adoptan comportamientos de caza que mitigan el esfuerzo y reducen al máximo el desgaste corporal para que su ejercicio de caza tenga mayor éxito (Kruuk, 2006) (Davenport, 2008) por consiguiente, un factor relevante que disminuye el gasto energético de las nutrias en la consecución de alimento.

Es importante resaltar que este fenómeno comportamental de las estrategias de caza de las nutrias surge evolutivamente debido a la especialización y organización de los peces en cardúmenes (Partridge, 1982). Lo anterior confirma que entre más grandes sea el grupo, mayor será el éxito de cacería.

Según las observaciones, las nutrias gigantes tienen una efectividad de caza individual (número de individuos que capturan peces / número total de nutrias) del 87 % ($n = 222$ inmersiones durante el tiempo total de las observaciones) y una correlación lineal entre el número de individuos participantes en la alimentación y la efectividad de captura (Pearson's Product-Moment Correlation; Test: $t = 3,114$, $df = 43$, $p = 0,0001$ con correlación del 0,82) (Fig. 7).

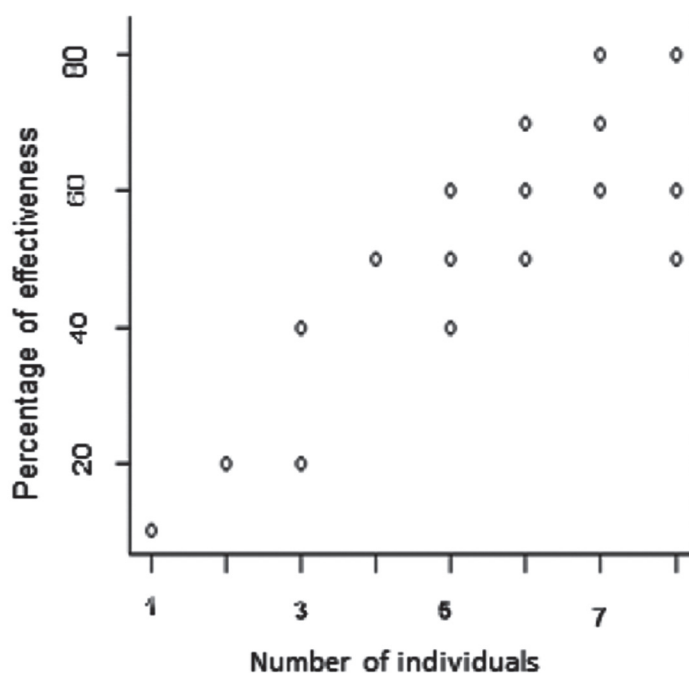


Figura 7. Efectividad de pesca *Pteronura brasiliensis*.

En cuanto a la efectividad de caza, se evidencia que un determinante en su realización es que se hace de manera cooperativa. No obstante, las actividades cooperativas para la consecución de alimento y actividades de cacería grupales no son exclusivos de *P. brasiliensis*. De igual forma, el desarrollo de estrategias de cacería, donde se cooperativiza el trabajo para la obtención de alimento, también es observado en nutrias euroasiáticas (Kruuk, 2006, pág. 156), carnívoros como leones (Stander & Albon, 1963), lobos y perros africanos (Creel & Creel, 1995). Con el desarrollo del trabajo cooperativo, estas especies demuestran una efectividad de hasta un 27 % en felinos (*Panthera leo*) (Stander & Albon, 1963, pág. 451) y en Licaones (*Lycaon pictus*) del 45 % (Creel & Creel, 1995, pág. 1330), calculo estimado por el éxito grupal en la captura. De acuerdo a lo observado se encontró que las nutrias gigantes tienen una efectividad de caza del 87 %.

El comportamiento de cooperación en actividades de forrajeo en nutrias gigantes es similar al de otras especies, hay que resaltar las diferencias. Una de ellas es el medio acuático en el que estos mustélidos consiguen su alimento, la asociación en cardúmenes por parte de sus presas como estrategia antipredadora y la individualidad en la captura final y consumo excepto para con las crías.

En el proceso de inmersión se analizaron el tiempo de inmersión y la profundidad (Figura. 8). Esta inmersión consistió en bucear, nadar para capturar peces y emerger con la presa y hacerlo en intervalos de tiempo que oscilaban de 6 a 35 segundos ($n = 222$ inmersiones) con $x = 13$ segundos y $\sigma^2 = 8,54$, su distribución es simétrica, (Prueba de correlación producto-momento de Pearson $p = 0,0032$).

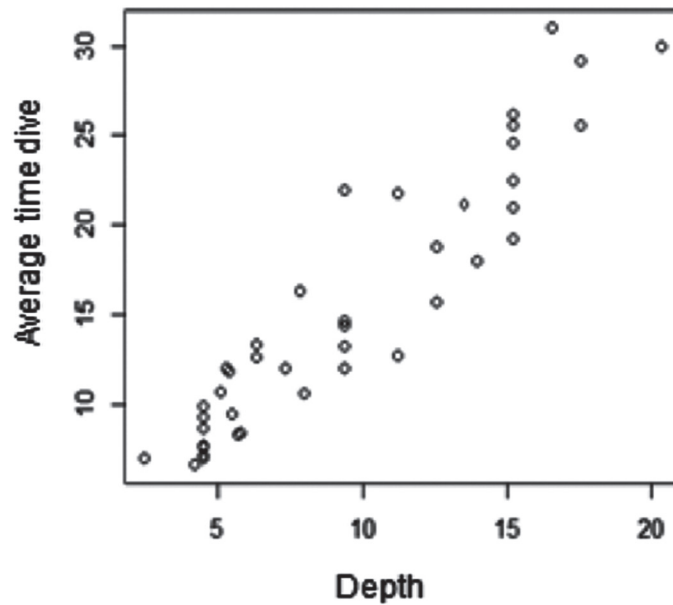


Figura 8. Relación lineal del tiempo de inmersión y profundidad.

Para la caza cooperativa, las nutrias prefirieron cazar en tres tipos de áreas: aguas abiertas, vegetación sumergida y contra barranco; existiendo la asociación numérica (Chi-cuadrado: $\chi^2 = 59,5024$, $p = 0,0002$) entre el área de caza y estrategia empleada por la nutria gigante de la zona de estudio para la obtención de alimento.

Por otro lado, la época climática determina el comportamiento cooperativo de caza, observando que en verano (existe una menor área de dispersión del alimento), se presenta el fenómeno de caza cooperativa con una frecuencia del 55 %, encontrando un $p\text{-valor} = 0,0576$ entre las variables tiempo atmosférico y tipo de orilla, con un nivel de confianza del 90 %. Esto se debe principalmente a dos fenómenos, el primero es la disminución del área del ecosistema acuático y el segundo, a la reorganización de los cardúmenes que posiblemente en invierno se escinden.

Estos dos fenómenos tienen una relación causal. Es decir, al existir un mayor confinamiento de los peces en un cuerpo de agua definido se organizan en cardúmenes como una estrategia

anti predatora que permite ciertas ventajas: asegura una mejor protección contra los predadores (Partridge, 1982) al optimizar las alarmas colectivas, obligando a su predador, en este caso la nutria, a desarrollar comportamientos complejos de caza (Capman, 1990). Del mismo modo, al presentarse disminución del área del ecosistema acuático tiene consecuencias para la nutria y para los cardúmenes, la nutria tiene una mayor disponibilidad de peces confinados y los cardúmenes tienen menor área para maniobrar y escapar de los depredadores, por lo tanto, las nutrias prefieren bucear en áreas poco profundas, ya que producirán un bajo gasto de energía (Kruuk, 2006).

CONCLUSIONES

Por primera vez se reporta un comportamiento colectivo de caza para *Pteronura brasiliensis*. Este comportamiento, seguramente es una respuesta adaptativa a la cohesión en cardúmenes de sus presas y que se encuentra en un ecosistema abierto. Las estrategias de caza punta de flecha en nutria gigante de Santa Rosa de Sapuara demandando un número efectivo de 7 individuos, los cuales permiten la optimización para la obtención de alimento en

un 87 % de eficiencia, resaltándose la importancia de la asociación entre las nutrias para optimizar la caza.

El tamaño de los grupos de nutria gigante es un elemento importante para tener en cuenta en los procesos de conservación de la especie y del complejo de humedales del Río Guaviare, como la Laguna de Santa Rosa de Sapuara. Ya que en estos se permiten el desarrollo de comportamientos alimenticios complejos y de ello inferir la salud de los especímenes que se encuentran en estos hábitats y el éxito de su recuperación para la zona como especie en peligro. Es importante destacar que los ecosistemas explotados de manera sostenible como el que llevan a cabo las comunidades indígenas y colonos presentes en los alrededores de la laguna permiten la subsistencia de la nutria y el hombre.

El comportamiento cooperativo en las actividades de pesca de la nutria gigante (*P. brasiliensis*), permite evidenciar la organización de cooperación para obtener el alimento con una mayor eficiencia. En algunas actividades de pesca se evidenció la participación de los cachorros como proceso de aprendizaje.

Esta primera aproximación al comportamiento de *Pteronura brasiliensis* desde la perspectiva cooperativa de caza se convierte en un nuevo instrumento para el abordaje de estudio del grupo.

AGRADECIMIENTOS

A la fundación IASSOS por la financiación en especial a Jose Ávila, Alejandro Fontecha por la materialización de lo imaginado, Jorge Ariza por las ilustraciones, a Carlos Velandía y Lina Vásquez por su aporte; Carolina Corzo e Ivónne Salamanca por sus comentarios y revisión del escrito, Robinson Muñoz y a las comunidades Indígenas de Santa Rosa de Sapuara, etnias Piapoco, Puinabe y Sikuaní, a todos los naturalistas que van más allá de los métodos.

LITERATURA CITADA

- Alcock, J. (1993). *Animal behavior: An evolutionary approach (Fifth ed.)*. Sunderland: Sinauer Associates. Recuperado de <http://psycnet.apa.org/psycinfo/1993-97586-000>
- Alexander, R. D. (1974). *The Evolution of Social Behavior. Annual Review of Ecology and Systematics*, V, 325-383. Recuperado el 28 de julio de 2015, de <http://www.jstor.org/stable/2096892>
- Altmann, J. (1974, March 15). *Observational Study Of Behaviour: Sampling Methods*. Behaviour Magazine, XLIX, 227-265.
- Álvarez-León, R. (2009, January-June). *Importancia de los peces en la nutrición de la nutria gigante de río (Pteronura brasiliensis) (carnívora: mustelidae) en Colombia*. Luna Azul Journal(28), 8-14.
- Arden-Clarke, C. H. (1986, June). *Population density, home range size and spatial organization of the Cape clawless otter, Aonyx capensis, in a marine habitat*. Journal of Zoology, CCIX(2), 201-211. doi:10.1111/j.1469-7998.1986.tb03576.x
- Blundell, G. M., Ben-David, M., & Bowyer, T. (2002, May 14). *Sociality in river otters: cooperative foraging or reproductive strategies?* Behavioral Ecology, XIII(1), 134-141. Recuperado el 10 de febrero de 2015, de Behavioral Ecology Web Site: <http://beheco.oxfordjournals.org/content/13/1/134.full.pdf+html>
- Blundell, G. M., Ben-David, M., Groves, P., Bowyer, R. T., & Geffen, E. (2004, June 11). *Kinship and sociality in coastal river otters: are they related?* Behavioral Ecology, XV(5), 705-714. doi:10.1093/beheco/arh110
- Bohórquez González, A. (1994). *Filogenia del Comportamiento*. (L. García de Andrade, Ed.) Bogotá, Colombia: Universidad Incca de Colombia.
- Capman, R. (1990). *El animal y su universo, estudio dinamico del comportamiento* (Primera ed.). (S. Fernández, Trans.) México, México: Fondo de la cultura económica.
- Carrasquilla, M. C., & Trujillo, F. (2004). *Uso De Hábitat, Comportamiento Y Dieta De La Nutria Gigante (Pteronura brasiliensis) En El Río Orinoco. Vichada – Colombia. En El Bajo Río Bita (Vichada-Colombia)*. En F. Trujillo, M. C. Diazgranados, L. Fuentes, Y. Llanos, J. Martínez, D. N. Castelblanco, . . . G. Bravo, M. C. Diazgranados, & F. Trujillo (Eds.), Estudios De Fauna Silvestre En Ecosistemas Acuáticos En La Orinoquía

- Colombiana (pp. 179 - 201). Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales.
- Creel, S., & Creel, N. (1995, March 14). *Communal hunting and pack size in African wild dogs, Lycaon pictus*. *Animal Behaviour*, L(5), 1325-1339.
- Cutts, C. J., & Speakman, J. R. (1994, January 12). *Energy Savings In Formation Flight Of Pink-Footed*. *J. exp. Biol.*, CLXXXIX(1), 251-261. Recuperado el 2 de febrero de 2014, de <http://jeb.biologists.org/content/jeb189/1/251.full.pdf>
- Davenport, L. (2008). *Behavior and Ecology of the giant Otter (Pteronura brasiliensis) in Oxbow Lakes of the Manú Biosphere Reserve, Perú*. North Carolina: The University of North Carolina at Chapel Hill.
- Davenport, L. (2010, June 30). *Aid to a Declining Matriarch in the Giant Otter (Pteronura brasiliensis)*. (K. McComb, Editor) doi:10.1371/journal.pone.0011385
- Domínguez, C. A. (1985). *Amazonía Colombiana, Visión General*. Bogotá, Colombia: Talleres Gráficos Banco Popular.
- Duplaix, N. (1980). *Observations on the ecology and behavior of the Giant River Otter Pteronura brasiliensis in Suriname*. *Revue d'Écologie Terre et Vie.*, XXXIV(4), 495-620.
- Evangelista, E. (2004, August 18). *Change Of Partners In A Giant Otter Alpha Couple*. *IUCN Otter Spec. Group Bull.*, XXI(1), 47-51.
- Evangelista, E., & Rosas, F. (2011, March). *The Home Range And Movements Of Giant Otters (Pteronura brasiliensis) In The Xixuaú Reserve, Roraima, Brazil*. *IUCN Otter Spec*, I(A)(28), 31-37.
- Gittleman, J. L. (1989). *Carnivore Group Living: Comparative Trends*. In Cornell University Press, & J. L. Gittleman (Ed.), *Carnivore Behavior, Ecology, and Evolution* (First ed., pp. 183-207). New York, USA: Chapman & Hall. doi:10.1007/978-1-4613-0855-3_8
- Gómez, j. R. (2004). *Ecología alimentaria de la nutria gigante (Pteronura brasiliensis) en el bajo Río Bitá (Vichada-colombia)*. En f. Trujillo, m. C. Diazgranados, I. Fuentes, y. Llanos, j. Martínez, d. N. Castelblanco, . . . G. Bravo, m. C. Diazgranados, & f. Trujillo (eds.), *Estudios de fauna silvestre en ecosistemas acuáticos en la orinoquía colombiana* (p. 403). Bogotá, colombia: Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Instituto de Estudios Ambientales para el Desarrollo, Departamento de Ecología y Territorio.
- Groenendijk, J., Duplaix, N., Hajek, F., Schenck, C., & Staib, E. (2005). *Standard Field Survey Techniques for the Giant Otter*. En J. Groenendijk, F. Hajek, N. Duplaix, C. Reuther, P. Van Damme, C. Schenck, . . . J. C. Botello, C. Reuther, O. Kölsch, & W. Janßen (Eds.), *Habitad. Arbeitsberichte der Aktion Fischottererschutz* (First ed., pp. 11-30). Hankensbüttel, Germany: Verlag der GN-Gruppe Naturschutz GmbH. Retrieved October 7.
- Groenendijk, J., Duplaix, N., Marmontel, M., Van Damme, P., & Schenck, C. (2015, June 2). *Pteronura brasiliensis*. Retrieved October 7, 2015, from The IUCN Red List of Threatened Species Web Site: <http://www.iucnredlist.org/details/18711/0>
- IDEAM (2012). *Valores totales diarios de precipitación*. Estación 3215006 Sapuara, Municipio de Barrancominas, Departamento del Guainía. Instituto de Hidrología y Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C.
- Klopfer, P. (1976). *Introducción al comportamiento animal: un siglo de Etología*. (J. J. Utrilla, Trans.) México: Fondo de Cultura Económica.
- Kruuk, H. (1995). *Wild Otters. Predation and Populations*. Oxford, Estados Unidos: Oxford University Press.
- Kruuk, H. (2006). *Otters. Ecology Behaviour and conservation* (First ed.). New York, Estados Unidos: Oxford University press.
- Kruuk, H., & Moorhouse, A. (1991, May). *The spatial organization of otters (Lutra lutra) in Shetland*. *Journal of Zoology*, CCXXIV(1), 41-57. doi:10.1111/j.1469-7998.1991.tb04787.
- Maier, R. (2001). *Comportamiento Animal, un enfoque evolutivo y ecológico* (First ed., Vol. I). (J. Cejudo, Ed., & A. Perez, Trans.) Madrid, Spain: Mc Graw Hill.
- Martin, P., & Bateson, P. (1991). *La medición del comportamiento*. Madrid, España: Alianza Editorial.
- Mason, C., & Macdonald, S. (1986). *Otters. Ecology And Conservation*. London, England: Cambridge University Press.
- Melquist, W. E., & Hornocker, M. G. (1983, April). *Ecology of River Otters in West Central Idaho*. *Wildlife Monographs*(83), 3-60. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/3830731>

- Mumm, C., Urrutia, M., & Knörnschild, M. (2014, February). *Vocal individuality in cohesion calls of giant otters, Pteronura brasiliensis*. *Animal Behaviour*(88), 243-252. doi:10.1016/j.anbehav.2013.12.005
- Partridge, B. L. (1982, August). *Structure and function of fish schools*. *American Scientific*, CCXLVI(6), 114-123.
- Pérez Eslava, H., Bucheli León, P. E., & Giraldo Benavides, B. (2005). *La agroforestería en Guainía: Una alternativa sostenible*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI, Amazonas. Leticia: Equilátero.
- Portocarrero, M., Morales, D., Díaz, D. L., & Millán, J. P. (2009). *Nutrias de Colombia*. Bogotá: Fundación Omacha-Fundación Horizonte Verde.
- Rudas, A., & Prieto, A. (1998). *Caracterización Ecológica Preliminar de las riberas del río Inírida (Guainía), en el área de influencia de la comunidad de La Ceiba*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Naturales.
- Staib, E. (2005). *Eco-Etología del Lobo de Río* (Vol. 1). (R. Duarte, Trans.) Lima, Peru: Sociedad Zoológica de Francfort.
- Stander, P., & Albon, S. (1963). *Hunting success of lions in a semi-arid environment*. Simposio de la Zoological Society of London(65), pp. 127 - 143.
- Trujillo, F., Botello, J. C., & Carrasquilla, M. C. (2006). *Perro de agua, Pteronura brasiliensis (Orden Carnivora – Familia Mustelidae)*. En J. Rodríguez, F. Alberico, J. Trujillo González, & J. Jorgenson, *Libro rojo de los mamíferos de Colombia. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia*. (pp. 133-138). Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Velandia, C., & Vásquez, L. (2015). *Estudio de La ecología alimentaria de Pteronura brasiliensis, mediante la investigación acción I-A como estrategia de conservación en la laguna Santa Rosa De Sapuara, Departamento de Guainía (Orinoquía Colombiana)*. Undergraduate Thesis, Universidad Distrital Francisco José De Caldas., Bogotá.
- Whiten, A., Cusanse, D., Gómez, J., Teixidor, P., & Bard, K. (1996). *Imitative Learning of artificial fruit processing in children (Homo sapiens) and chimpanzees (Pan troglodytes)*. *Journal of Comparative Psychology*(110), 3-14.

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 HISTÓRICO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE FORRAJES TROPICALES EN COLOMBIA ENTRE 1985 Y 2015. I - GRAMÍNEAS FORRAJERAS

HISTORICAL ANALYSIS OF CHEMICAL COMPOSITION OF TROPICAL GRASSES IN COLOMBIA BETWEEN 1985 AND 2015. I – FORAGE GRASSES

¹ **Wilmer Alfonso Cuervo Vivas**

² **Luz Elena Santacoloma Varón**

³ **Leonor Barreto de Escovar**

¹ Magister en Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Colombia sede Medellín

² Doctora en Desarrollo Sostenible de la Universidad Católica de Ávila

³ Doctora en Desarrollo Sostenible, Sociedad, economía y medio ambiente

^{1,2,3} Universidad Nacional Abierta y a Distancia

¹ lwilmer.cuervo@unad.edu.co

² luz.santacoloma@unad.edu.co

³ leonor.barreto@unad.edu.co

RESUMEN

Para evaluar dinámicas en composición nutricional de forrajes tropicales utilizados para la producción bovina en Colombia, se adelantó una revisión sistemática en un motor de búsqueda inespecífico de investigaciones publicadas en Colombia entre 1985 y 2015 que incluyeran reportes de fracciones químicas asociadas a calidad forrajera y parámetros productivos animales. Se seleccionaron como componentes: Proteína Cruda, Fibra Detergente Neutra, Fibra Detergente Ácida y Digestibilidad In Vitro de la Materia Seca. También se tuvo presente reportes de ganancia diaria de peso, producción de leche y capacidad de carga. Se realizaron regresiones lineales para

cada fracción química y para cada parámetro productivo en el periodo estudiado. De la búsqueda se obtuvieron 105 estudios en 17 bases de datos, de los cuales se seleccionaron especies con más de 5 estudios publicados. No se observaron tendencias lineales significativas en el tiempo para las fracciones químicas analizadas, ni para las variables productivas asociadas a la calidad del forraje. Sin embargo, para *Brachiaria sp* y *Paspalum s.p* se advierte una tendencia significativa al aumento en UGG/ha ($r^2=0,54$ y $0,53$ respectivamente). A pesar de la baja significancia de la regresión se observó en las 9 especies, aumento sostenido en PC y DIVMS y reducción en FDA (salvo en *Lolium sp* y *Dichantium sp*). Se identifica

una ligera tendencia positiva para la capacidad de carga en la mayoría de las especies. Se concluye, que los estudios históricos constituyen una valiosa herramienta para explicar y predecir el comportamiento nutricional de especies forrajeras y su efecto en variables de interés zootécnico.

Palabras clave: Forrajes, Parámetros productivos Revisión, valor nutricional

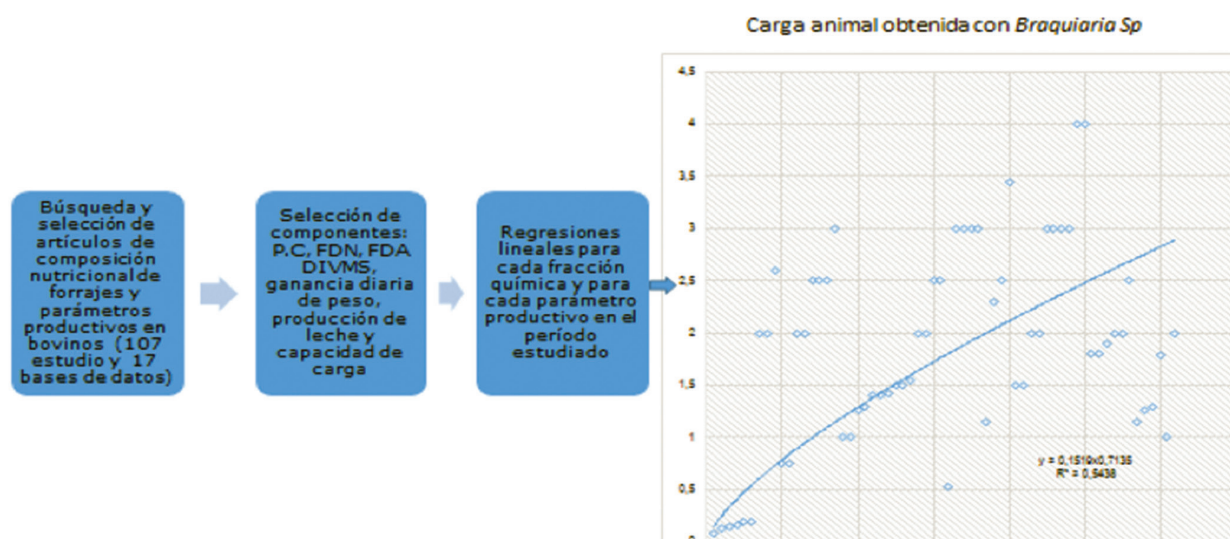
ABSTRACT

To evaluate dynamics in nutritional composition of tropical forages used in cattle production in Colombia a systematic research was made, using a regular search engine, for studies published in Colombia between 1985 and 2015, Those studies had to include chemical composition data, such as crude protein, neutral detergent fiber, acid detergent fiber and in vitro dry matter digestibility (CP, NDF, ADF, IVDMD). Likewise studies that reported productive parameters such as daily weight gain (DWG Kg/d), milk yield (MY Lt/d), Animals per hectare (UGG/ha), were included. A lineal regression model was used for chemical

components and productive parameters for the period studied. Starting from the global research, 105 studies were included from 17 research database, from which 9 species were selected (species with more than 5 studies published). No lineal trends were observed in the time lapse analyzed, for neither chemicals fractions nor productive parameters related to forage quality. However for *Brachiaria sp* and *Paspalum sp* a positive trend was detected for UGG/ha ($r^2=0.54$ y 0.53 , respectively). Despite the low significance of the coefficients of determination of lineal regression model for the 9 species selected, an overall lineal increase in CP and IVDMD was observed, and also a lineal reduction for ADF (except for *Lolium sp* and *Dichantium sp*). Regarding to productive parameters, a slight positive trend was observed for the UGG/ha in most of the species analyzed. This kind of study becomes in a valuable tool in order to explain and to predict the nutritional behavior of the forage species and its effect on livestock productive parameters.

Keywords: Forage, Productive parameters, Review, Nutritional value

RESUMEN GRÁFICO



INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción ganadera en un país tropical como Colombia se basan en el aprovechamiento de una gran oferta forrajera, propia de la diversidad climática, topográfica y edáfica de su territorio. Así, para Heywood (2008), es necesario mantener y conservar esta biodiversidad, toda vez que su pérdida generaría problemas no solo en la alimentación animal sino humana. No obstante, en alimentación animal, el uso de estos recursos, presenta como mayor limitante la fluctuación en producción y calidad, lo que determina en gran parte la respuesta de los animales en producción de leche y carne, como consecuencia de cambios en el consumo y digestibilidad del forraje (Castro, Domínguez, Morales y Huerta 2017).

Lo anterior lo comparten Uvidia, Ramírez, Vargas, Leonard, y Sucoshañay (2015), quienes expresan que la estacionalidad en la oferta de forraje y la variación en su valor nutritivo son factores que limitan la producción animal en las zonas tropicales, y para Elizondo (2017), la calidad de los forrajes está afectada por factores internos como; especie, variedad, edad fisiológica y por factores externos, como; clima, características del suelo, manejo de la fertilización y edad de corte. Para Barbosa *et al.*, (2011), la frecuencia de defoliación es una variable que ha mostrado un efecto significativo en producción y calidad nutricional de un cultivo forrajero y según Denda (2017), la capacidad de recuperación después de la defoliación, y el desarrollo de nueva área foliar, es un factor determinante, en la calidad, y ello depende no solo de factores ambientales como el estado hídrico del suelo, el contenido de nitrógeno, sino también del genotipo de la planta.

En coherencia con lo expuesto, Brizuela, Ferrando y Blanco (2005), consideran que la calidad nutricional depende en gran parte de un adecuado manejo, como es la edad a la cual

se cosecha el forraje, lo cual afecta la relación hoja: tallo, que presenta el material, cuando es ofrecido a los animales. Gandara, Borrajo, Fernández y Pereira (2017) expresan, que la edad de corte es el factor que más incide en el valor nutricional de los forrajes, debido a que su incremento, aumenta el contenido de Fibra Detergente Neutra (FDN) y Fibra Detergente Ácida (FDA) y disminuye la Digestibilidad de la Materia Seca DIVMS y la Proteína Curda (PC). Santana, Pérez y Figueredo (2010), comparten esta afirmación y consideran que la decisión acerca del momento de cosecha es fundamental en la implementación de estrategias sostenibles para la producción forrajera. Tobía y Villalobos (2004), complementan lo anterior, al exponer que en los tallos se concentra el 60% de la fibra detergente neutro (FDN) de la planta y en las hojas se concentran el mayor contenido de los carbohidratos no estructurales y minerales.

Se han observado en numerosos trabajos que forrajes pertenecientes a zonas intertropicales de mayor altura presentan mayores digestibilidades, menor contenido de fibra indigerible y en zonas de trópico bajo se presentan generalmente forrajes con menor contenido proteico y mayor de fibra (Balan *et al.*, 2014). Otros componentes climáticos como la humedad en el suelo resultan de particular importancia, a lo cual Del Pozo (2008) señala, que “el crecimiento de los pastos es una función de la humedad disponible en el suelo y que esta, a su vez, varía en dependencia de la cantidad y distribución de las precipitaciones, de la estructura y pendiente de los suelos, de los valores de radiación y temperatura, así como del área cubierta por la vegetación”.

La fertilización que se aplica al suelo es otro elemento que se destaca, en el valor nutricional de una especie forrajera, al respecto,

García, Miranda y Borge (2017) reportan mayores rendimientos de proteína bruta, ceniza y digestibilidad de la materia seca en pasto *Brachiaria brizantha*, manejado con abono orgánico. Así mismo, el tipo de sistema de producción de forraje, es un factor de importancia en el análisis, al respecto, Treydet *et al.*, (2007) reportan que, en la asociación de gramíneas con leguminosas arbóreas o arbustivas, el comportamiento de las primeras, reporta mayores contenidos de proteína que en monocultivo, como resultado del reciclaje de nutrientes, generado en la fijación del nitrógeno de la leguminosa. Paciullo *et al.*, (2011) aportan elementos al análisis al reportar incrementos en la proteína de la gramínea *B. decumbens* en Sistemas Silvopastoriles, (SSP), con los árboles leguminosos *Acacia mangium*, *A. Angustissima* y *Mimosa artemisiana*, con respecto a la gramínea en monocultivo; lo anterior es atribuido a degradación de la materia orgánica y reciclaje de nutrientes en suelos con sombrero. Este comportamiento no es exclusivo de policultivos de gramíneas con leguminosas, ya que algunos investigadores reportan la toma de nutrientes de gramíneas en asociaciones con plantas no leguminosas como *T. diversifolia*, las cuales establecen asociaciones con hongos micorrízicos.

Por su parte, la productividad del animal rumiante es un reflejo de la oferta y calidad forrajera que recibe y estas condiciones se reflejan en indicadores como capacidad de carga, consumo de materia seca (CMS), ganancia de peso y producción de leche/día. Respecto a la composición nutricional del forraje, en el consumo de materia seca, esta obedece en gran medida a una serie de variables fisiológicas que reaccionan ante la composición del alimento y a su procesamiento en el organismo animal (Vasquez y Smith 2000)

En coherencia con lo expuesto, el primer factor a considerarse es el llenado físico, que provoca

el alto contenido de FDN, su fracción degradable y tasa de fermentación del FDN digestible. Al respecto, Mahecha, Escobar, Suárez y Restrepo (2007), encontraron que, al suministrar especies forrajeras con diferentes contenidos nutricionales, se aprecia mayores consumos, en las que presentan altos contenidos de proteínas, minerales y digestibilidad de la materia seca. Para Rivera *et al.*, (2015), tanto la oferta como la calidad del alimento, brindado a rumiantes, inciden en la producción y calidad de la leche, ya que en glándula mamaria las diferentes fracciones que conforman la leche dependen de los precursores obtenidos en la digestión ruminal e intestinal y la absorción de alimentos. En este contexto, los alimentos y forrajes con un contenido de proteína bruta significativo, estimula el incremento de la producción de leche, sobre todo al inicio de la lactancia, debido a que las vacas están en capacidad de movilizar sus reservas corporales de energía para satisfacer las demandas de nutrientes requeridos para su producción (Milera, 2013).

Así las cosas, tanto la producción de leche, como la ganancia de peso dependen en gran medida del consumo, digestibilidad y contenido nutricional de los forrajes, debido a que son aspectos altamente relacionados. De este modo, los principales objetivos de este artículo son; identificar las dinámicas en la calidad nutricional de los forrajes a través del tiempo y explicar las relaciones entre la composición química de los forrajes y el comportamiento de parámetros productivos de la especie bovina, durante el período comprendido entre 1985-2015 en Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recopilaron estudios realizados en Colombia durante el período 1985 - 2015, en los cuales se reportaba la composición nutricional de forrajes tropicales en diferentes condiciones

climatológicas y se estimaba el valor de parámetros productivos relacionados con consumo de materia seca, producción de leche, incrementos de peso y capacidad de carga. Los artículos fueron seleccionados teniendo presentes el tiempo de ventana de observación, el área geográfica del país, las especies forrajeras tanto gramíneas como leguminosas, y forrajeras no leguminosas utilizadas en alimentación animal. En la estrategia de búsqueda se incluyeron 17 bases de datos bibliográficas específicas del área agropecuaria: University of Chicago Journals, AGBios, Embrapa, Academic Search Complete, Agris, Scielo, Science Direct, Agricola, Pubmed, Journal of Animal Science, Animal Production, Journal of Dairy Science, Springer Journal, Scopus, Springer Books, e-books y EBSCO, y documentos y tesis de grado del repositorio de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Los términos de búsqueda fueron: valor nutricional de forrajes, análisis químico de los forrajes, contenido nutricional de forrajes, forrajes en el trópico y se tuvo presente que las investigaciones tuviesen características similares en diseño de investigación, metodologías de análisis válidas, relevancia de los artículos, y autores reconocidos en el ámbito de la investigación.

Se llevó a cabo la codificación de los estudios, de acuerdo al; piso térmico, temperatura, humedad, especie forrajera, y valores nutricionales de los forrajes relacionados con; producción de materia seca por hectárea (TON MS/HA), materia seca (MS %), proteína cruda (PC %), Extracto etéreo (EE %), Cenizas (CEN %), materia orgánica (MO %), fibra cruda (FC %) fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA%), digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS %), celulosa (CEL %), Hemicelulosa (HCEL %), lignina (LIG %), energía bruta (Mcal EB/Kg de MS), energía digestible (Mcal ED/Kg de MS), energía metabolizable (Mcal EM/Kg de MS), energía neta

de lactancia (Mcal ENI/Kg de MS), calcio (Ca %), fósforo (P%), magnesio (Mg %), potasio (K %). Del mismo modo, se organizó la información correspondiente a; consumo de MS (CMS Kg/d), peso vivo (PV Kg), eficiencia alimenticia (%), ganancia diaria de peso (GDP kg/d), producción diaria de leche (Lt leche/d), contenido de grasa en leche (%), contenido de proteína en leche (%), sólidos totales en leche (%), carga animal (UGG/ha), intervalo entre partos (IEP días), edad al primer parto (días), tasa de concepción (%) y peso al destete (Kg). Mediante análisis de regresión lineal, se estableció la relación cuantitativa entre el mejoramiento en la composición química de los forrajes a través del período de tiempo estudiado (1985-2015), así como su relación con los parámetros productivos de sistemas de producción bovina.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de considerar factores como el efecto del género y especie de los forrajes, la forma de cosecha o utilización (corte, pastoreo) y el número de estudios incluidos en el proceso de búsqueda (los forrajes con mayor cantidad de registros en cuanto a composición y parámetros productivos), se seleccionaron las siguientes especies:

- *Brachiaria spp*
- *Megathyrsus máximum*
- *Andropogon gayanus*
- *Cynodon spp*
- *Pennisetum clandestinum*
- *Lolium multiflorum*
- *Dichantium aristatum*
- ***Paspalum sp***

Para analizar la relación entre la composición de los forrajes y las variables productivas para los animales incluidos en el análisis, se seleccionó el contenido de PC, FDN, FDA, DIVMS y las variables productivas GDP, Lt/d, UGG/ha.

En algunos estudios incluidos en la investigación, se reportaban el contenido de Ca, P, MS y LIG, así como los parámetros productivos; porcentaje de grasa, proteína y sólidos totales, y se consideró incluirlos en el análisis. Sin embargo, No obstante, por cuestiones de falta de uniformidad

de los datos no se tuvieron en cuenta.

El resumen del contenido nutricional promedio de las especies gramíneas de pastoreo, seleccionadas en el estudio durante el período 1985 y 2015, se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Contenido Nutricional promedio de principales especies de gramíneas de pastoreo entre 1985 y 2015

Especie		PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	DIVMS (%)
Brachiaria Sp	Periodo analizado	1989-2015 (n=47)	1989-2015 (n=19)	1989-2015 (n=20)	1986-2015 (n=49)
	X ± DE	7,77 ± 3,65	69,21 ± 10,95	41,18 ± 8,68	58,62 ± 11,22
	Tendencia (r2)	Lineal (0,08)	Lineal (0,04)	Lineal (0,02)	Lineal (0,18)
	Cambio anual estimado	0,07	-0,39	-0,24	0,336
Megathyrsus máximo	Periodo analizado	1989-2012 (n=22)	1989-2015 (n=22)	1989-2015 (n=12)	1986-2015 (n=19)
	X ± DE	8,32 ± 2,28	68,47 ± 2,47	40,55 ± 3,82	51,99 ± 6,95
	Tendencia (r2)	Polinómica (0,154)	Lineal (0,55)	Lineal (0,571)	Polinómica (0,287)
	Cambio anual estimado	0,069x2 - 1,2055x + 55,194	-0,355	-0,282	0,0349x2 - 0,5863x + 53,315
Andropogon gayanus	Periodo analizado	1987-1995 (n=15)	-	1988-1995 (n=8)	-
	X ± DE	7,66 ± 2,84 (15)	-	49,53 ± 4,26	-
	Tendencia (r2)	Polinómica (0,04)	-	Lineal (0,173)	-
	Cambio anual estimado	-0,0353x2 + 0,5466x + 6,2069	-	0,725	-
Cynnodon sp	Periodo analizado	1991 - 2013 (n=12)	1985-2005 (n=7)	1993-2015 (n=7)	1993-2015 (n=7)
	X ± DE	9,81 ± 1,91	72,38 ± 4,28	37,48 ± 4,49	59,16 ± 1,77
	Tendencia (r2)	Lineal (0,023)	Lineal (0,011)	Polinómica (0,701)	Lineal (0,237)
	Cambio anual estimado	0,079	-0,21	-1,0673x2 + 7,627x + 26,975	0,4611

Continuación tabla 1

Especie		PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	DIVMS (%)
<i>Pennisetum clandestinum</i> (<i>Cenchrus clandestinus</i> (<i>Hoechst Ex Chiov</i>))	Periodo analizado	1985 - 2014 (n=23)	1993 - 2014 (n=20)	1993 - 2014 (n=16)	1984 - 2014 (n=13)
	X ± DE	16,7 ± 4,0	62,31 ± 6,22	33,83 ± 8,38	71,42 ± 11,03
	Tendencia (r2)	Lineal (0,079)	Lineal (0,055)	Lineal (0,079)	Lineal (0,053)
	Cambio anual estimado	0,161	-0,246	-0,495	0,651
<i>Digitaria decumbens</i>	Periodo analizado	1985 - 2010 (n=10)	1985 - 2000 (n=6)	-	1984 - 2014 (n=13)
	X ± DE	9,51 ± 1,71	66,41 ± 4,13	-	58,27 ± 4,16
	Tendencia (r2)	Potencial (0,123)	Lineal (0,58)	-	Lineal (0,119)
	Cambio anual estimado	8,515x ^{0,1014}	0,525	-	1,03
<i>Lolium Sp</i>	Periodo analizado	1994 - 2014 (n=12)	1990 - 2014 (n=12)	1984 - 2014 (n=13)	-
	X ± DE	20,51 ± 4,68	42,17 ± 10,10	29,5 ± 4,55	-
	Tendencia (r2)	Polinómica (0,247)	Polinómica (0,536)	Lineal (0,114)	-
	Cambio anual estimado	0,2057x2 - 2,8245x + 27,7	3,8857x2 - 24,194x + 72	0,201	-
<i>Dichantium aristatum</i>	Periodo analizado	1990 - 2015 (n=9)	1990 - 2015 (n=8)	1990 - 2015 (n=11)	1990 - 2015 (n=7)
	X ± DE	6,44 ± 0,91	71,32 ± 2,08	43,87 ± 8,79	57,85 ± 21,29
	Tendencia (r2)	Lineal (0,083)	Lineal (0,64)	Lineal (0,48)	Lineal (0,11)
	Cambio anual estimado	0,165	1,059	0,6455	0,68075
<i>Paspalum notatum</i>	Periodo analizado	1988 - 2010 (n=6)	1988 - 2010 (n=6)	-	-
	X ± DE	8,01 ± 2,64	74,4 ± 8,98	-	-
	Tendencia (r2)	Lineal (0,369)	Lineal (0,149)	-	-
	Cambio anual estimado	1,001	-0,5155	-	-

Fuente: El estudio 2018

COMPORTAMIENTO HISTÓRICO COMPOSICIÓN QUÍMICA

● *Brachiaria sp.*

Con un total de 47 estudios entre los años 1989 y 2015, reportados en 10 departamentos y 25 municipios ubicados entre los 125 y 1.380 msnm, se observó para esta especie una leve tendencia al aumento de PC ($r^2 = 0,08$), siendo más evidente un aumento en la DIVMS ($r^2 = 0,18$). El comportamiento para FDN y FDA en la ventana de tiempo analizada para

esta especie, no arrojó mayores cambios ($r^2 = 0,04$ y $0,02$ respectivamente). Lo anterior nos indica, un posible mejoramiento en el manejo de la especie a través del tiempo, en cuanto a condiciones ambientales y edáficas.

Como se aprecia en la Figura 1, se presenta una gran variabilidad en el contenido de proteína durante el periodo analizado sin una

tendencia significativa (superior al 70 %) en el comportamiento del contenido de Pc, FDN, FDA o DIVMS.

El comportamiento de las variables productivas reportadas en las investigaciones que incluyeron el uso de *Brachiaria sp* mostró una tendencia (potencial) al aumento ($r^2 = 0,54$) en la capacidad de carga entre 1987 y 1995 (Ver figura 2). No se observaron tendencias significativas para producción de leche ni para la GDP. Este resultado no se asocia con el número de estudios incluidos en este análisis, dado que para GDP se incluyeron 59 artículos y, para UGG/ha, 60. La variación también se explica por qué los datos no se clasificaron de acuerdo a la edad y altura de corte o pastoreo, ante lo cual Beltrán *et al.*, (2005), exponen que esta especie forrajera responde muy bien a la

edad de defoliación con mayor producción y calidad de biomasa en sus diferentes órganos.

El alcance del estudio no permite concluir específicamente que el mejoramiento genético realizado sobre las especies del género *Brachiaria* en los últimos 30 años haya afectado el número de animales que se pueden sostener por hectárea; sin embargo, se hace evidente que, a partir de 1986, hay una tendencia al aumento en este parámetro, tanto que, dentro de la última década, el promedio de UGG/ha aumentó en 19 % con respecto al periodo de 1985-1990. Cabe resaltar el aumento paralelo de la capacidad de carga y el aumento de la DIVMS de este forraje (de 54,1 % en los años 90 a 61,5 % a final de 2010) en el periodo analizado.

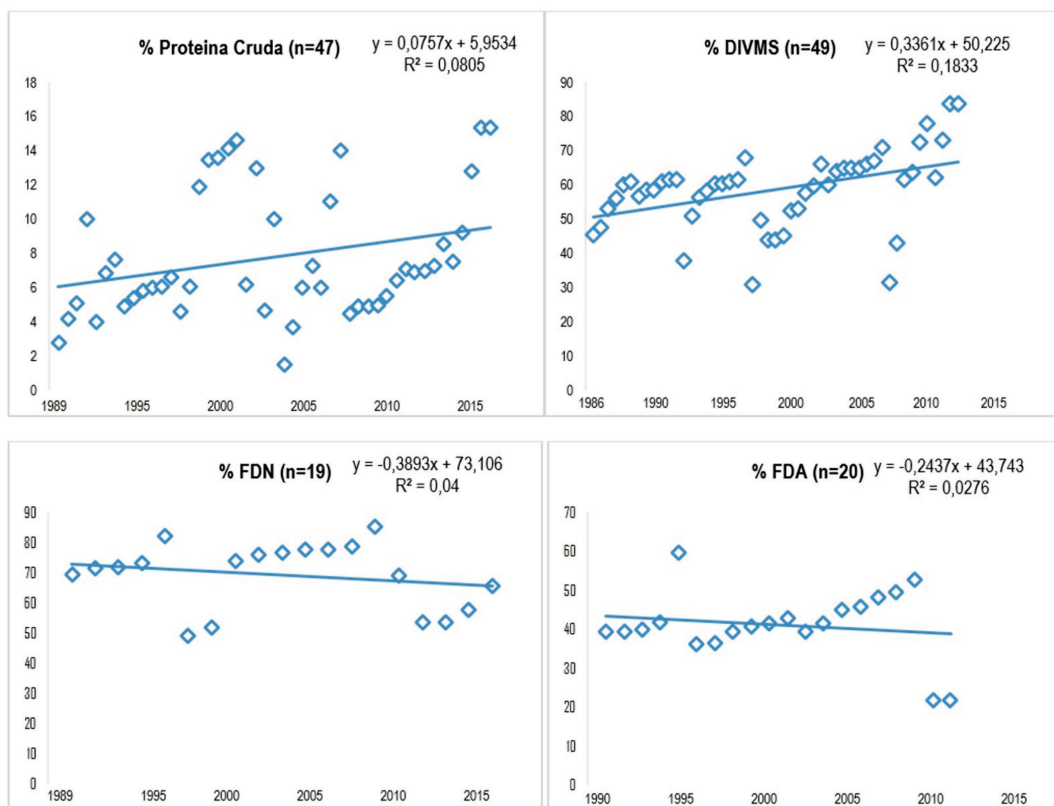


Figura 1. Variación en Composición Química del género *Brachiaria Sp* entre 1985 y 2015 en Colombia.

Fuente: El estudio 2018

En tal sentido, los factores climáticos *per se* no controlan de manera lineal el contenido químico de un forraje; sin embargo, elementos como la radiación solar, las precipitaciones y

la temperatura ambiente generan una serie de complejas interacciones alterando no solo el contenido sino el rendimiento de los forrajes (Peruchena 2007)

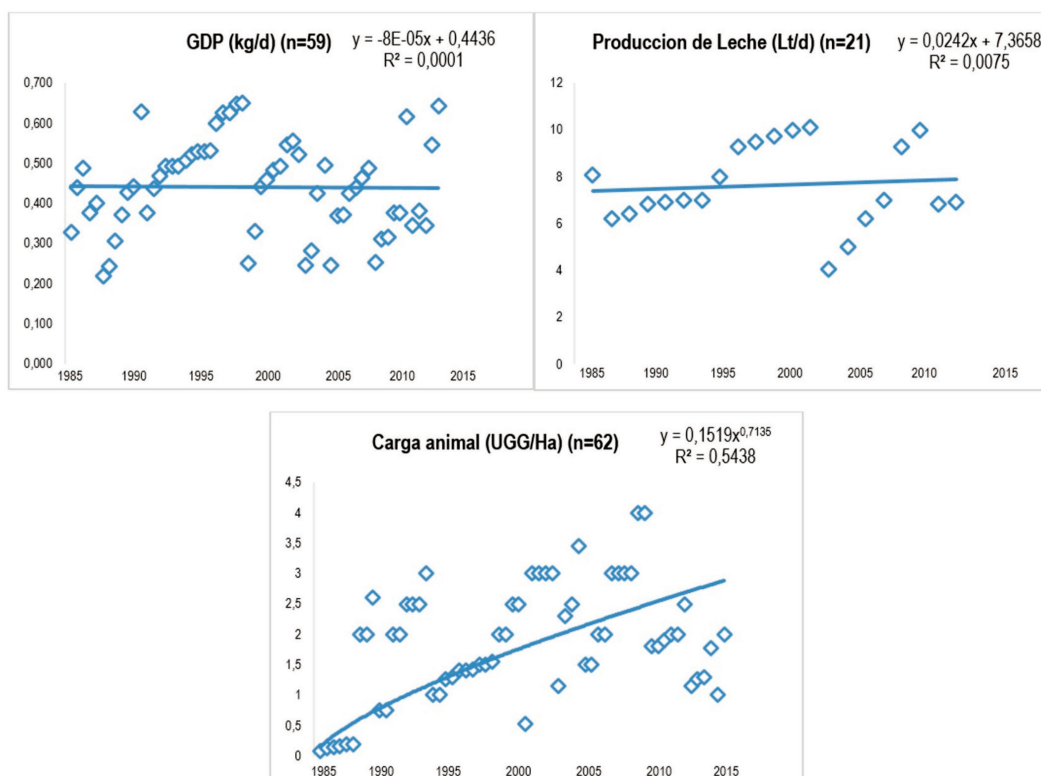


Figura 2. Comportamiento histórico de variables productivas en Bovinos en estudios de *Brachiaria sp.* entre 1985 y 2015 en Colombia.

Fuente: El estudio 2018

● *Panicum máximo (Megathyrsus máximo)*

Con un total de 33 estudios entre los años 1983 y 2013, 10 departamentos y 15 municipios entre los 3 y 2.085 msnm, para esta especie no se observaron tendencias significativas en los contenidos nutricionales, salvo una disminución anual promedio de 1.09 % para FDN ($r^2 = 0,55$) y de 0,87 % para FDA ($r^2 = 0,51$) entre 1995 y 2013. Como se observa en la figura 3, hay una variabilidad media en el contenido de PC y DIVMS en el periodo analizado, al contrario de la uniformidad encontrada en los datos observados para FDN y FDA. Por su parte, Verdecia *et al.*, (2015),

reportan en investigaciones con *Megathyrsus maximus*, tenores de PC de 14,02 %, similar a los valores encontrados en los artículos consultados en el presente estudio, para los años comprendidos entre 2012 y 2015, en tanto que Álvarez *et al.*, (2016), reportan niveles de PC por encima de estos valores, en un estudio en el cual utiliza esta especie en asociación con leguminosas. Lo anterior, indica la alta capacidad de respuesta de la especie, ante la presencia de plantas fijadoras de nitrógeno, como son las leguminosas, las cuales mejoran significativamente la calidad de las gramíneas.

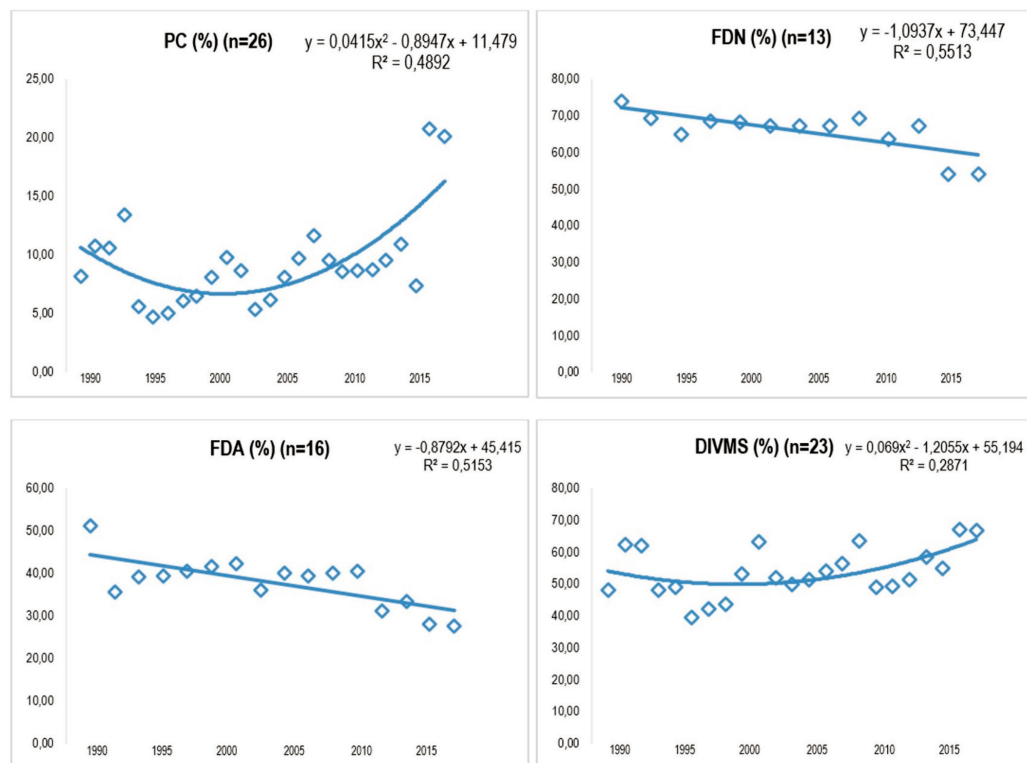


Figura 3. Variación en composición química del genero *Megathyrus maximum* entre 1990 y 2015 en Colombia.

Fuente: El estudio 2018

No se observaron tendencias significativas para el comportamiento de las variables productivas reportadas en investigaciones (GDP y capacidad de carga) que incluyeron el uso de

Megathyrus maximum (lineal para UGG con $r^2 = 0,05$ y potencial para GDP con $r^2 = 0,13$) entre 1990 y 2015 (Ver figura 4).

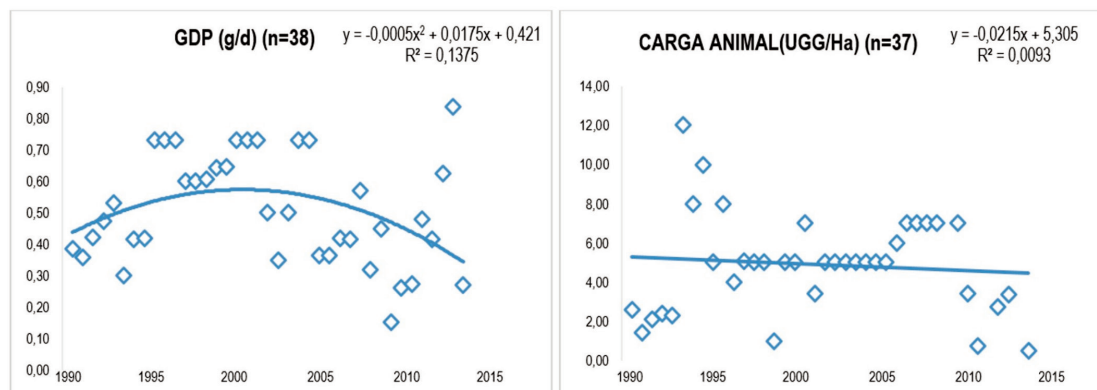


Figura 4. Variación en Ganancia diaria de peso (g/d) y Capacidad de Carga (UGG/ha) en estudios sobre *Megathyrus maximum* entre 1990 y 2015 en Colombia.

Fuente: El estudio 2018

Los niveles históricos de carga animal (UGG/ha), coinciden con lo reportado por Peñaherrera (2015), con valores de 7,2 t ha⁻¹ y 6,6 t ha⁻¹ con diferentes alturas de corte. Por su parte, al retirar los valores extremos (19, 20 y 30 UGG/ha) el comportamiento de la mayor parte de los datos (26 de 37 artículos) muestra que los estudios en los que utilizaron este forraje, es posible sostener 6 o menos animales por hectárea y ello puede estar asociado a su mayor uso como forraje para pastoreo o un menor tiempo de corte para su uso.

● *Andropogon gayanus*

Para el *Andropogon* se tuvo un total de 18 estudios, no obstante, dentro de los mismos el reporte de composición química no fue consistente, de tal manera que los únicos componentes comunes en los estudios fueron el contenido de PC y de DIVMS. Los 18 estudios

se realizaron entre los años 1987 y 2013, en 4 departamentos y 8 municipios entre los 365 y 1.071 msnm y se registraron contenidos de PC entre 5 y 11 % y de DIVMS entre 47 y 57 %. Estos contenidos de PC resultan bajos para las necesidades de los animales, ante lo cual Ojeda, Pino - Bárbara, Lamela, Santana, y Montejo (2010), señalan que cuando el contenido de proteína bruta del forraje desciende por debajo de 7 %, se reduce rápidamente el consumo como consecuencia de deficiencia de nitrógeno en el rumen, lo cual limita la actividad microbiana.

Para esta especie se observó una leve tendencia ($r^2 = 0,06$) al aumento de PC (0,14 % al año), siendo más evidente ($r^2 = 0,50$) el aumento en la DIVMS (0,05 % anual) entre 1989 y 2013 (Ver **Tabla 1**).

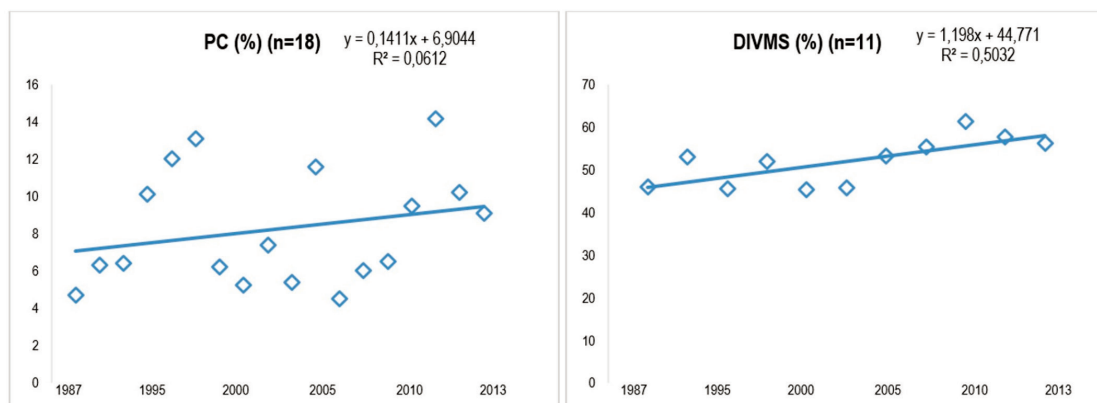


Figura 5. Variación en Fracciones Químicas de *Andropogon gayanus* en Estudios publicados entre 1987 y 2013 en Colombia.

Fuente: El estudio 2018

Con un total de 12 estudios, el comportamiento de las variables productivas reportadas en investigaciones que incluyeron el uso de *Andropogon gayanus* no demostraron

tendencias significativas para la GDP (lineal $r^2 = 0,015$) ni para la capacidad de carga (Lineal $r^2 = 0,031$) en 12 estudios publicados entre 1987 y 2013.

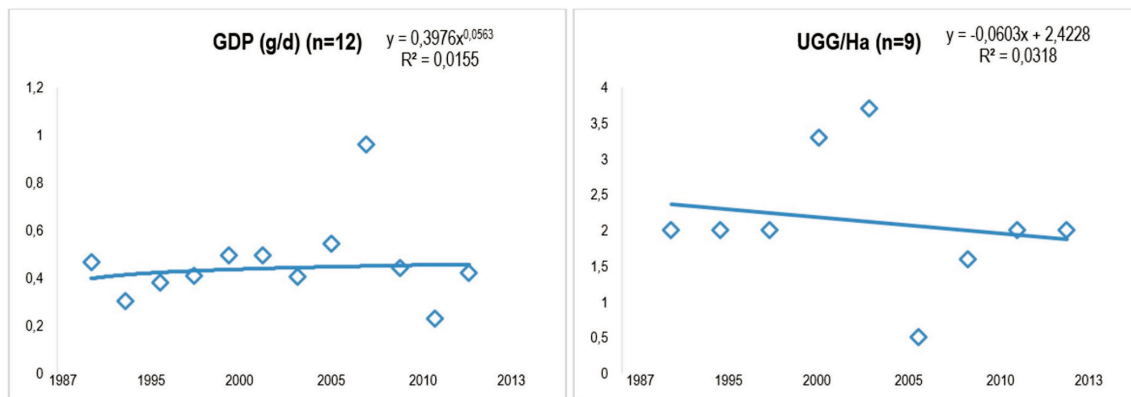


Figura 6. Variación en Ganancia diaria de peso (g/d) y Capacidad de Carga (UGG/ha) en estudios de *Andropogon gayanus* entre 1987 y 2013 en Colombia.

Fuente: El estudio 2018

Aunque el alcance del estudio no permite concluir específicamente que un mejoramiento genético realizado sobre *Andropogon* en los últimos 30 años haya incrementado el número de animales que se pueden sostener por hectárea o la ganancia diaria de peso, sí se advierte una tendencia (aunque leve) en el aumento en la calidad nutricional en cuanto al contenido de PC y del nivel de DIVMS en el periodo analizado. No obstante, Skerman (2003), referencia con esta especie cargas menores de 2,7 UGG, un valor nutritivo relativamente bajo y, en consecuencia, bajos incrementos de peso, aunque destaca palatabilidades superiores al *Brachiaria decumbens* y *Megathyrsus máximum*.

● *Cynodon sp*

Para el pasto estrella (*Cynodon sp*) se revisaron un total de 28 estudios, aunque en los

artículos se incluían reportes consistentes para 8 fracciones químicas, únicamente se trabajó con el contenido de PC, FDN, FDA y DIVMS para equiparar con los demás forrajes de este grupo de gramíneas. Los 28 estudios se realizaron entre los años 1985 y 2013, en 8 departamentos y 11 municipios ubicados entre los 150 y 1.760 msnm. En general, se observaron datos medianamente uniformes para PC ($9,81 \pm 1,91$ %), FDN ($72,38 \pm 4,28$), FDA ($37,48 \pm 4,49$) y DIVMS ($59,16 \pm 1,77$) en el periodo analizado (1987-2013). Estos datos son consistentes con los expuestos por Juárez, Montero y Núñez (2011) quienes manifiestan que la calidad nutricional del pasto estrella presenta modificaciones rápidamente con la edad y con las variaciones climáticas, lo que reduce su contenido de nitrógeno soluble e incrementa la pared celular.

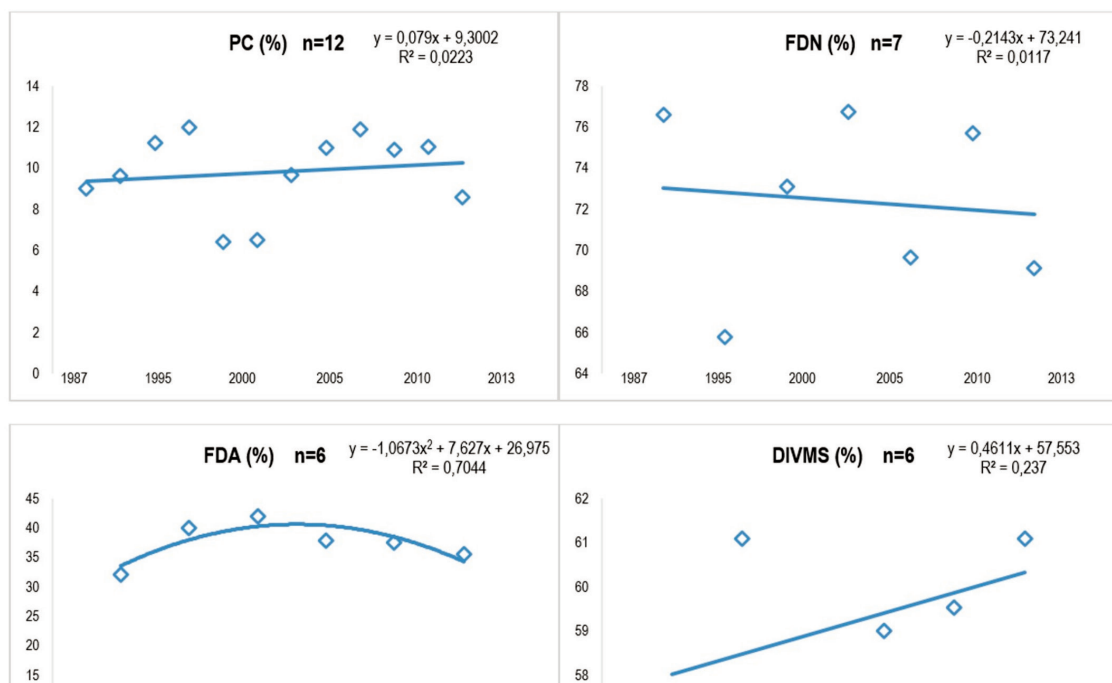


Figura 7. Variación en Fracciones Químicas de *Cynodon sp* en Estudios publicados entre 1987 y 2013 en Colombia.

Fuente: El estudio 2018

Entre los años 1987 y 2013, para esta gramínea no se observaron tendencias claramente identificables para PC ($r^2 = 0,02$) FDN ($r^2=0,01$) FDA (Polinómica), mientras que para la DIVMS se observó una leve tendencia ($r^2=0,23$) al aumento (0,46% al año) en los últimos 24 años.

Con un total de 22 estudios, el comportamiento de las variables productivas reportadas en investigaciones que incluyeron el uso de *Cynodon sp* no exhibió tendencias significativas para la GDP (lineal $r^2=0,022$) ni para la capacidad de carga (Lineal $r^2=0,04$) y una ligera disminución (lineal $r^2=0,32$) en el tiempo (0,029 Lt/año) para la producción de leche en estudios publicados entre 1991 y 2015.

Aunque se observa un aumento en la cantidad de animales sostenidos por hectárea en praderas compuestas por esta gramínea (sola o en asocio con leguminosas y otros forrajes),

se advierte una ligera disminución en la producción individual de leche, tanto que en los primeros 15 años del análisis (1985 a 2000) se sostenían en promedio 4,25 UGG/ha con una producción individual promedio de 18Lt/d mientras que para la segunda mitad del periodo analizado se observó un reporte de promedio de 6,5 UGG/ha con 10,8 Lt/d. Este bajo comportamiento identificado en los estudios, con base en reportes de León, Martínez, Pedraza y González (2012), se debe, probablemente, a las bajas concentraciones de PC que presenta esta especie en sus diversas etapas de crecimiento y que constituyen un limitante en su calidad nutricional. Esta condición, según Detmann *et al.*, (2004), derivada de bajos niveles de proteína, limita la actividad de los microorganismos ruminales y, en consecuencia, afecta la digestibilidad y el consumo de forrajes, causando bajo desempeño en el animal. Al respecto, Torregrosa *et al.*, (2015), afirma que

la calidad nutricional de una pastura en términos de PC, FDN, FDA y digestibilidad *in situ* están en función de la edad, parte de la planta

cosechada, época del año y estado nutricional del suelo.

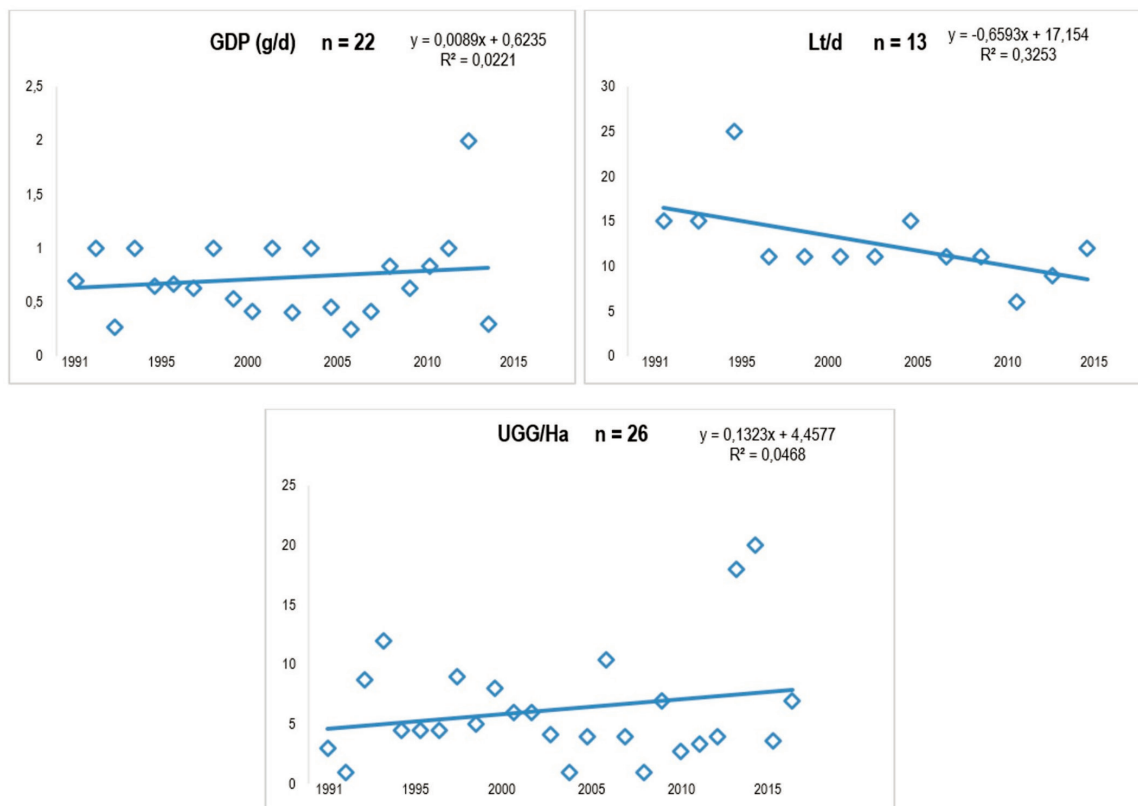


Figura 8. Variación en Ganancia diaria de peso (g/d), Producción diaria de leche (Lt/d) y Capacidad de Carga (UGG/ha) en estudios de *Cynodon Sp* entre 1991 y 2015 en Colombia.

Fuente: El estudio 2018

● *Pennisetum clandestinum* (Cenchrus clandestinus (Hochst. ex Chiov) Morrone)

Para el Kikuyo se tuvieron en cuenta 23 estudios, publicados en línea (1 uno en físico) entre 1985 y 2014, en los que se encontró que este forraje tuvo, en particular, un alto número de componentes químicos reportados en los estudios incluidos, asociado a su extendido uso en zonas lecheras del altiplano cundiboyacense, nariñense, el norte y oriente antioqueño (cuencas lecheras del país) y, en general, en zonas de ganadería de trópico alto colombiano. Aunque se asume que en la mayor parte de las muestras de

kikuyo analizadas en estudios para bovinos contiene un alto nivel de proteína, el análisis del presente estudio reveló una alta variabilidad ($16,7 \pm 4,0 \%$), del mismo modo, que para el contenido de FDA ($33,8 \pm 8,3 \%$). Las altas variaciones identificada en la PC ya han sido reportada en varios estudios, como los de Soto, Valencia, Galvis y Correa (2005), quienes expresan que el *P. clandestinum* presenta alta acumulación de N en los órganos vegetativos en las primeras etapas de crecimiento de los cultivos y disminuye en la etapa de senescencia.

Los valores relativamente altos de PC encontrados en el estudio, al analizar esta especie, se atribuyen a los intensos planes de fertilización nitrogenada a los cuales son sometidos estas praderas en las cuencas lecheras tanto en el altiplano cundiboyacense, como en el oriente

antioqueño (Carulla, Cárdenas, Sánchez y Riveros 2004 y Correa 2011). Por su parte, los niveles promedio de FDN ($62,31 \pm 6,22$ %) y DIVMS ($71,42 \pm 11,03$ %) reportados para este forraje en el periodo analizado fueron relativamente constantes (Figura 9).

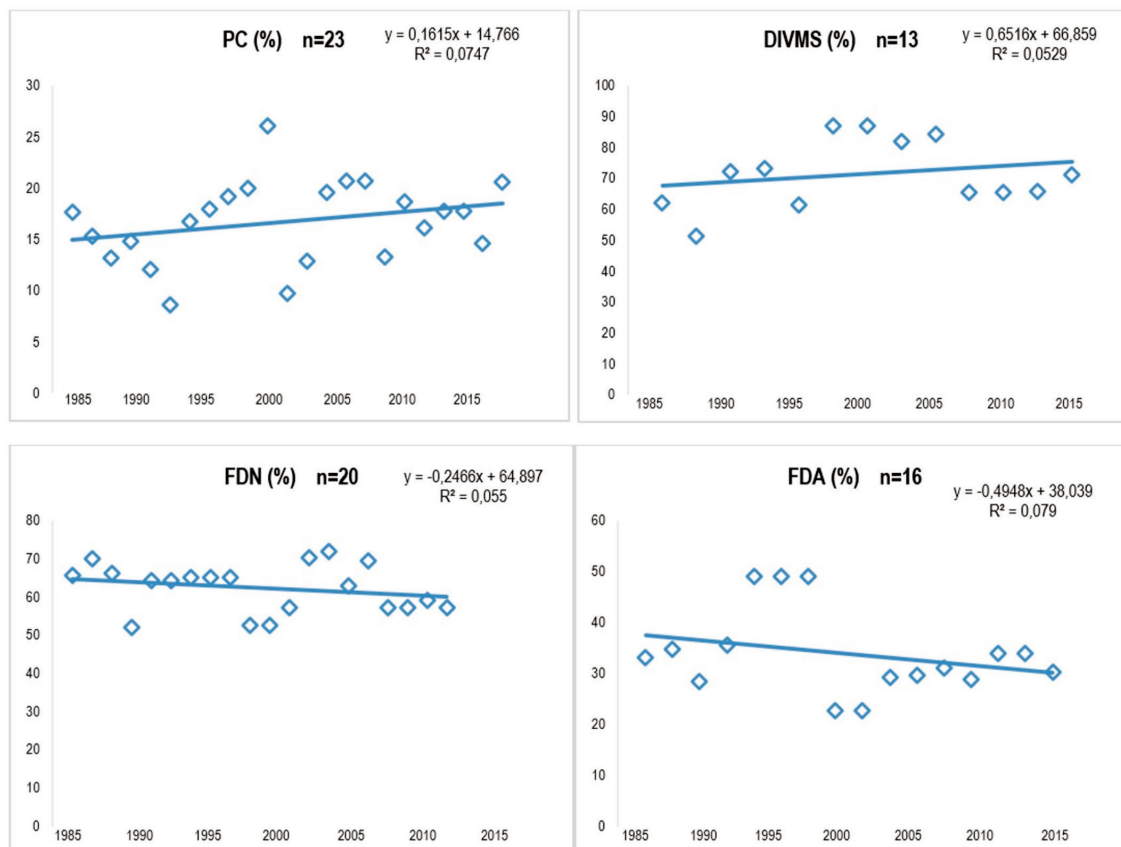


Figura 9. Variación en Fracciones Químicas de *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov) en Estudios publicados entre 1987 y 2013 en Colombia.

Fuente: El estudio 2018

En los reportes analizados, no se observaron tendencias significativas a lo largo del periodo 1985 – 2015 para PC ($r^2=0.07$) DIVMS ($r^2=0.05$), FDN ($r^2=0.05$), FDA ($r^2=0.07$). A pesar de la no significancia en el análisis de tendencias, si se observó un ligero aumento en el reporte del contenido de PC y DIVMS,

así como una leve reducción en el contenido de FDN y FDA. En cuanto al comportamiento de las variables productivas, no se mostraron tendencias estadísticamente significativas en cuanto a su comportamiento en el tiempo analizado.

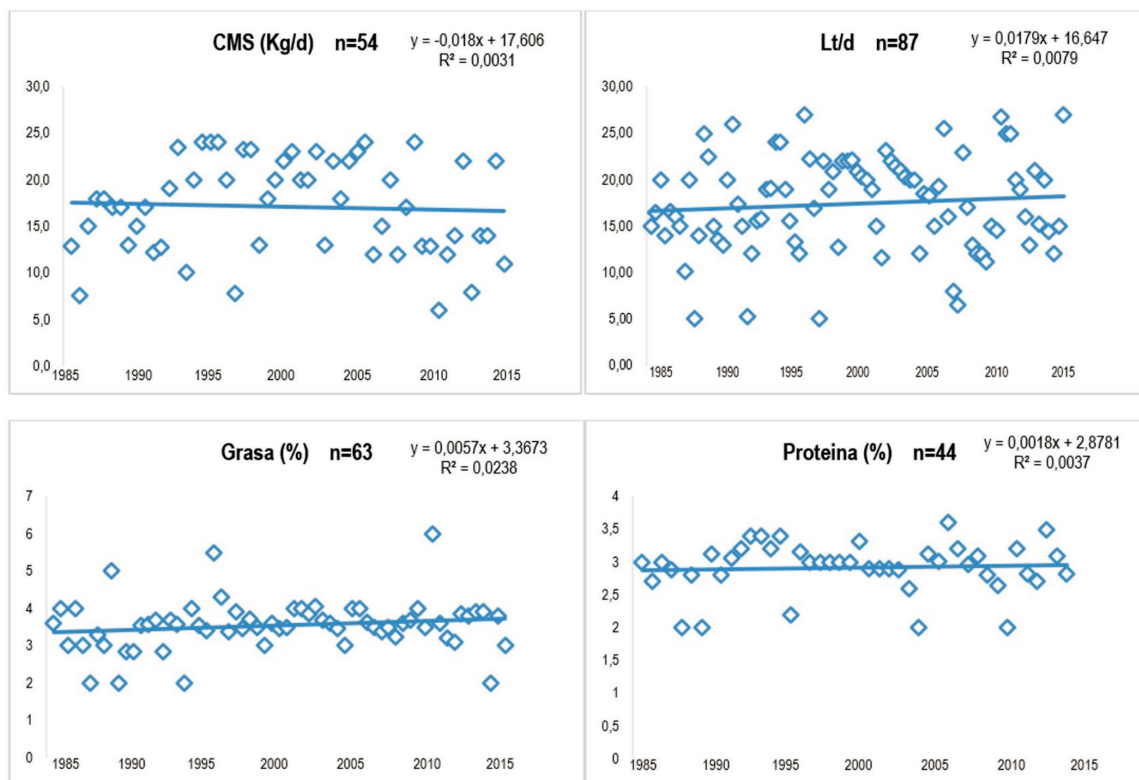


Figura 10. Variación en Consumo de materia Seca (Kg MS/d), Producción de leche (L/d), grasa en leche (%) y proteína en leche (%) 1985 y 2015 de *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov) en Colombia.

Fuente: El estudio 2018

Es importante mencionar que, para este forraje en particular, fue necesario cambiar las variables productivas analizadas, dado que su utilización en Colombia ha estado ligada a la producción lechera especializada, como el altiplano cundiboyacense, norte y oriente antioqueño y altiplano nariñense. En estos sistemas de producción, variables como el consumo de MS al día, producción y composición de leche son más analizadas que cualquier otro parámetro en estudios publicados. Al respecto Correa (2011), afirma que las características nutricionales más limitantes del pasto kikuyo para la producción de leche es la relación energía: proteína, debido a que si bien el forraje, presenta alto contenido de PC, muestra bajo contenido de Carbohidratos No Estructurales (CNE) y altos componente FDN.

● *Lolium multiflorum*

El Raygrass es uno de los forrajes más utilizados en ganaderías especializadas (leche y carne) en trópico alto colombiano, en este sentido, tanto las fracciones químicas más comunes como las variables productivas más analizadas varían con otras gramíneas de pastoreo incluidas en el estudio. No se observaron tendencias lineales en el tiempo para PC, FDN y un comportamiento lineal no significativo ($r^2 = 0,014$) para FDA, con un contenido medio de 20,5 %, 42,17 % y 29,5 % respectivamente para el periodo analizado.

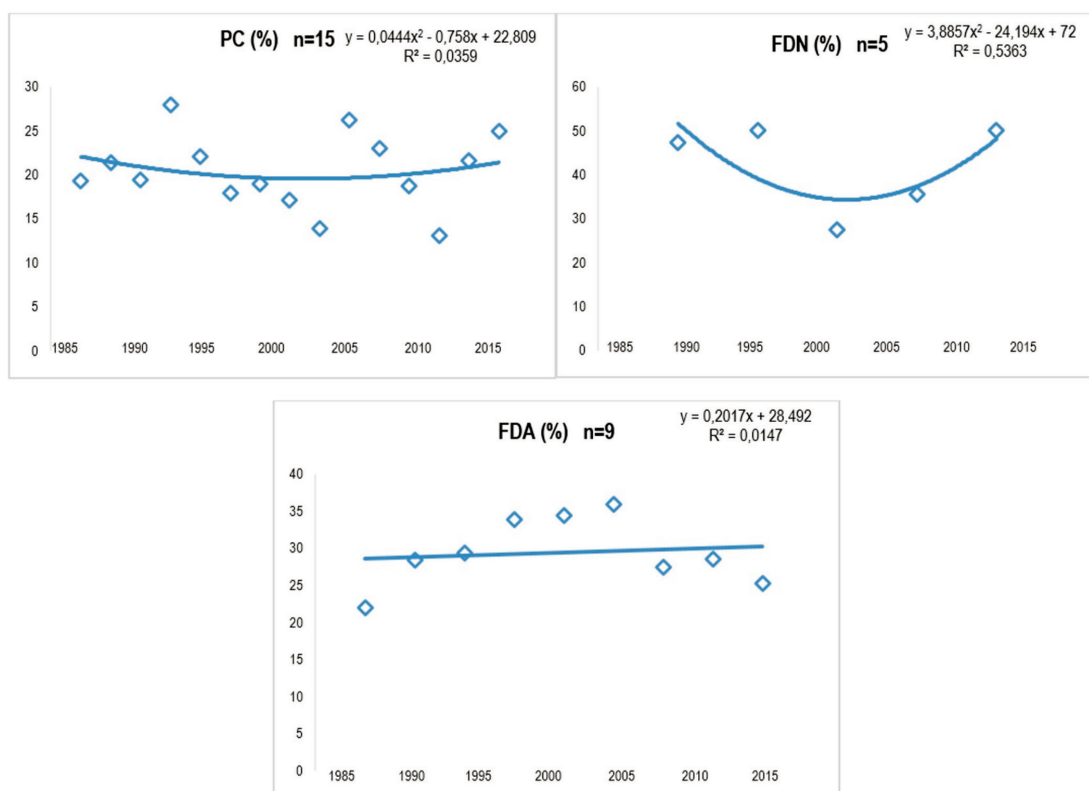


Figura 11. Variación en Fracciones Químicas de *Lolium Sp* en Estudios publicados entre 1985 y 2015 en Colombia.

Fuente: el estudio 2018

El promedio de PC que se obtuvo en el tiempo de observación, para el ***Lolium multiflorum*** supera los resultados obtenidos en estudios adelantados por Anrique (2014), donde el contenido de este componente, para una pradera fertilizada fue cercano a 16,7%. No obstante, coincide con los datos reportados por Posada, Cerón, y Arenas, (2013), con valores de 18 a 20 % en pasturas Raigrases de buena calidad, en periodos de lluvia. Lo anterior explica la inclusión de esta especie forrajera en rumiantes de alta producción en ganaderías lecheras de trópico alto.

Con respecto al FDN, los resultados promedio encontrados en el estudio son más bajos que los reportados por Villalobos y Sánchez

(2010), en *Raygrass tetraploide* quien relaciona un 70,2 % de este componente, en condiciones de verano y 49,76 % en época de sequía, datos que señalan la vulnerabilidad de esta especie frente a cambios climáticos. Al respecto, Veloza (2008), expone que el Raygrass en época seca, desarrolla un gran contenido de FDN por una maduración rápida que genera una prefloración “espiga” acelerada por la falta de pluviosidad y estrés calórico. Los datos de CMS en estudios que incluían el uso de Raygrass mostraron una ligera tendencia positiva ($r^2 = 0,18$), no así, la GDP que mostro datos inferiores en los estudios publicados entre 2005 y 2012, sin llegar a ser un comportamiento estadísticamente significativo.

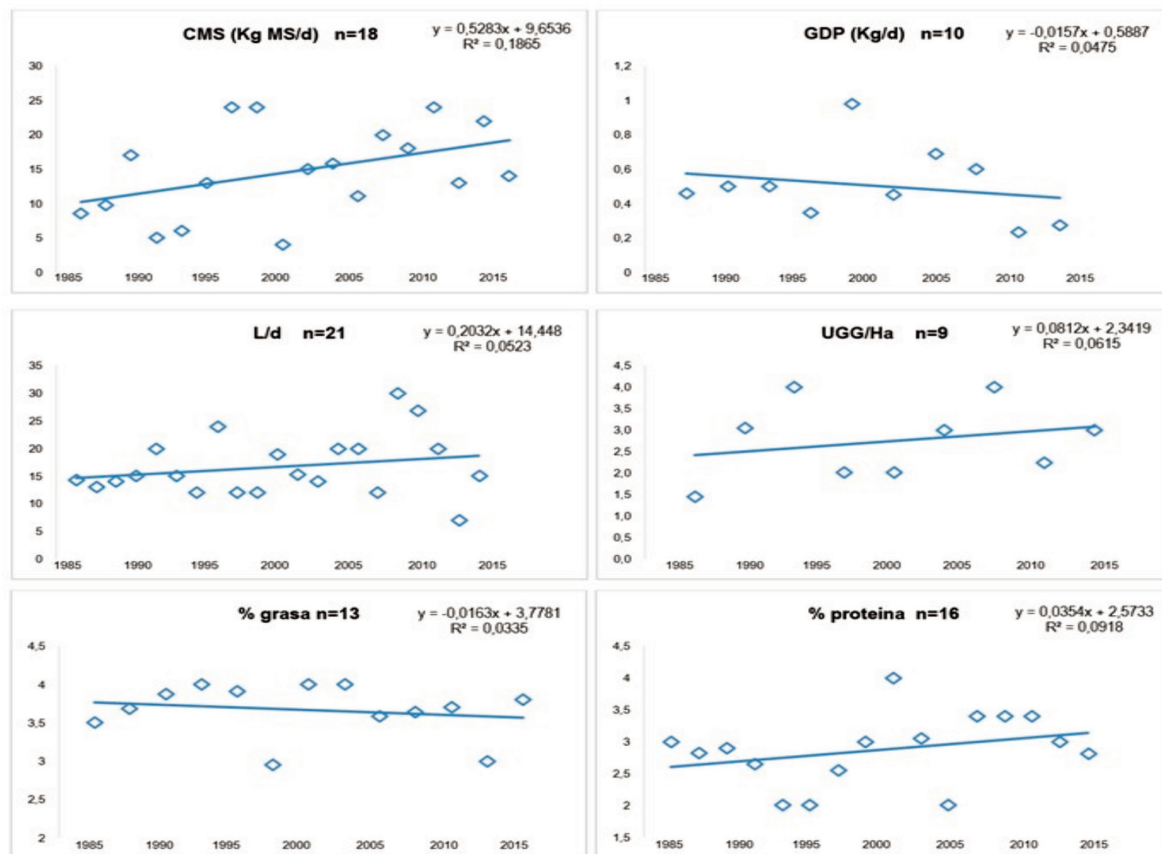


Figura 12. Reporte del nivel de Consumo de materia Seca (Kg MS/d), Ganancia diaria de peso (Producción de leche (L/d), capacidad de carga (UGG/d) grasa y proteína en leche (%) en investigaciones de *Lolium Sp* entre 1985 y 2015 en Colombia.

Fuente: El estudio 2018

Ni la capacidad de carga, ni los principales componentes de la leche y su producción diaria mostraron cambios significativos en el periodo analizado, salvo por un ligero aumento en el tiempo, en el contenido de PC y de UGG/ha ($r^2 = 0,09$ y $0,06$ respectivamente). Los indicadores productivos son consistentes con los valores nutricionales de esta especie forrajera, aunque resulta fundamental adelantar estudios más precisos acerca de la sincronización entre la energía y el nitrógeno suministrados al rumen, con el fin de mejorar procesos de eficiencia de la fermentación (Castro *et al.*, 2018).

● *Dichantium aristatum*

El pasto Angleton (*Dichantium aristatum*) es un forraje ampliamente distribuido en el trópico bajo colombiano por su fácil adaptación, resistencia a condiciones agro climatológicas adversas y su contenido de materia seca, por lo que se utiliza constantemente para la elaboración de heno. Tradicionalmente ha sido utilizado para el levante y la ceba de ganado de carne, en zona caribe colombiana como Córdoba y norte de Antioquia.

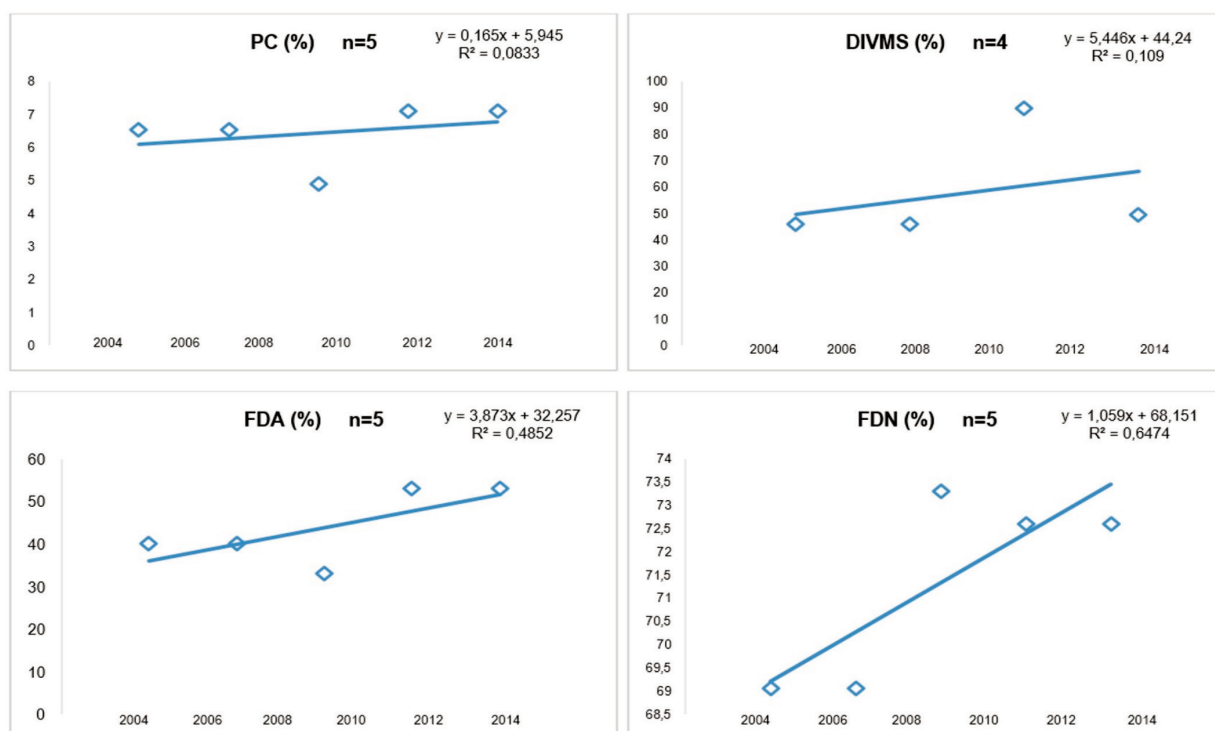


Figura 13. Variación en Fracciones Químicas de *Dichanthium Aristatum* en Estudios publicados entre 1985 y 2015 en Colombia.

Fuente: el estudio 2018

Los reportes publicados para este forraje en los que se incluyera la composición y las variables productivas fueron pocos, aunque se obtuvieron datos productivos desde 1997 y composicionales desde 2004. Se observan algunas tendencias al incremento de FDN y FDA, que probablemente obedezcan al bajo número de observaciones, más que a una correlación que se pueda asociar al cambio en las fracciones químicas reportadas para el pasto Angleton. Debido a lo expuesto, los datos obtenidos para este forraje presentaron una alta variabilidad para el contenido medio de, DIVMS ($57,85 \pm 21,29$) y FDA ($43,87 \pm 8,79$) y en menor proporción para FDN ($71,32 \pm 2,08$)

y PC ($6,44 \pm 0,91$). Los datos promedios de PC encontrados en el estudio contrastan con los reportados por (Corpoica – Ahora Agro-savia - y Universidad Nacional de Colombia, 2013), con valores de 10 a 16 %. Por su parte, y según esta misma fuente, los reportes relacionados con DIVMS entre 65-75 %, FDN 74 % y FDA de 43,4 %, son similares a los datos reportados en los estudios en ventana de observación, con bajos indicadores de calidad. Este comportamiento deficiente, según García, *et al.*, (2006), es responsable de la baja productividad de los rumiantes, sobre todo durante algunas épocas del año.

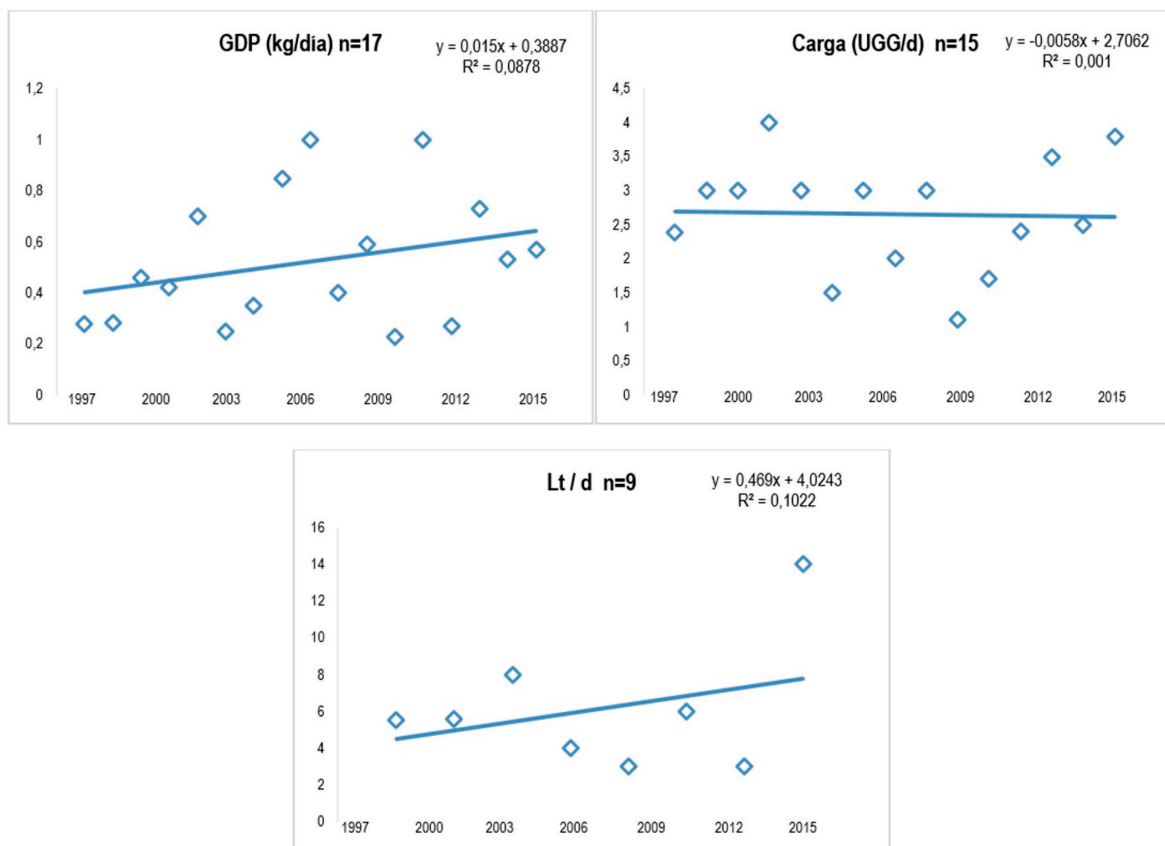


Figura 14. Reporte de la Ganancia diaria de peso, capacidad de carga (UGG/d) y Producción de leche (L/d) entre 1997 y 2015 en Colombia con *Dichantium Aristatum*.

Fuente: el estudio 2018

Las variables productivas reportadas en investigaciones que han estudiado el Angleton se asocian con sistemas de engorde bovino, en este sentido se obtuvo un mayor número de estudios en los que se reporta la GDP y la capacidad de carga, que la producción de leche o su composición. Aunque no fue estadísticamente significativa, se observó una ligera tendencia ($r^2 = 0,10$) positiva para la producción de leche, no así para GDP ($r^2 = 0,08$) ni para UGG/ha ($r^2 = 0,001$), esta ausencia en cambios detectables en el tiempo puede estar asociado a la restricción en el número de datos en estudios anteriores a 1997 lo cual no permite apreciar el comportamiento en el lapso de 30 años que se analizó con otros forrajes.

Se destaca la capacidad del forraje para ser utilizado en el engorde de bovinos y su potencial para sostener un alto número (comparado con otras gramíneas de pastoreo para trópico bajo) de animales por hectárea (en promedio 2,65 UGG/ha) con ganancias de peso históricas (en 12 años y 17 reportes incluidos en el estudio) que superan los 500 g/d. Estudios reportados por Torregroza, Cuadrado y Pérez (2006), corroboran este hallazgo, ya que registran datos de ganancias correspondientes a 660 g/d en animales Romosinuano y 728 g/d para animales Cebú.

● *Paspalum sp*

A pesar del bajo número de registros para la composición química específica de este forraje

y las variables productivas asociadas al uso exclusivo (no como parte de una mezcla de praderas), publicadas en los últimos 30 años, se incluyó esta especie forrajera, en el análisis, dada su importancia como grama nativa, presente en las principales sabanas de trópico bajo, en donde se levantan y engordan bovinos en el país.

Los reportes incluidos en este análisis comprenden desde 1987 a 2013, sin embargo, el género *Paspalum*, como base alimenticia de rumiantes de las sabanas nativas (piedemonte llanero y algunas zonas de la costa caribe), es subestimado como recurso forrajero por su bajo nivel de aporte nutricional (baja proteína, alta fibra y baja digestibilidad), e incluso es considerado a menudo como arvense en los procesos de introducción de gramíneas

mejoradas (generalmente del género *Bracharia*). En este sentido, muchos de los estudios lo reportan simplemente como pastura basal y en la gran mayoría de las investigaciones no se realizan análisis de composición química. Su rusticidad, persistencia y adaptación a suelos de baja fertilidad se debe a un sistema radicular fuerte y profundo.

Así las cosas, a partir de 8 reportes entre 1988 y 2013 se obtuvo un contenido medio de 8,8 % de PC, 66,24 % de FDN, 32,5 % de FDA y 58,27 % de DIVMS. Al respecto, Obrador (2007), expone que bajos niveles de proteína y de digestibilidad, como los reportados en sus estudios (< 8 % y 50 % respectivamente), interfieren en los niveles productivos que registran los animales.

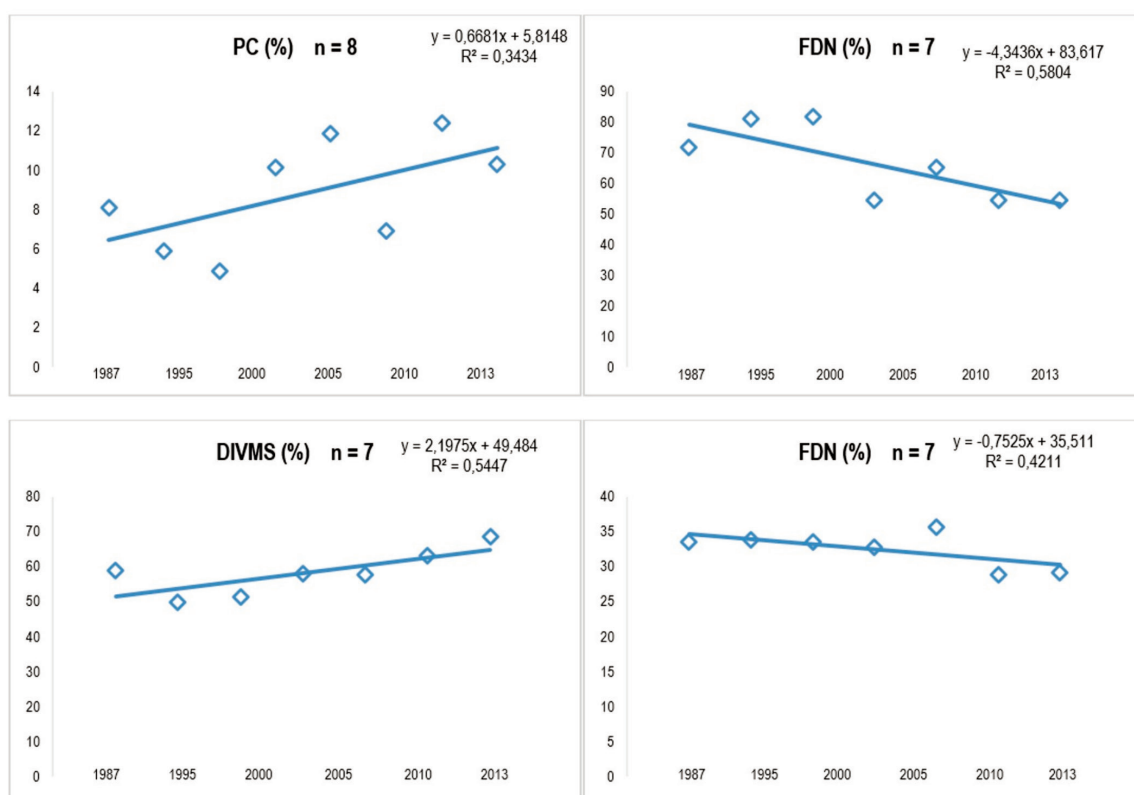


Figura 15. Variación en Fracciones Químicas de *Paspalum* Sp en Estudios publicados entre 1987 y 2013 en Colombia.

Fuente: el estudio 2018

A pesar del bajo número de estudios para este forraje, se identifican tendencias generales de un aumento en la GDP ($r^2 = 0,58$) y la capacidad de carga ($r^2 = 0,61$) con una significancia estadística intermedia, indicando que en los

últimos 26 años, los estudios reportan incrementos en el número de animales por hectárea e incrementos de peso en bovinos alimentados con grama nativa.

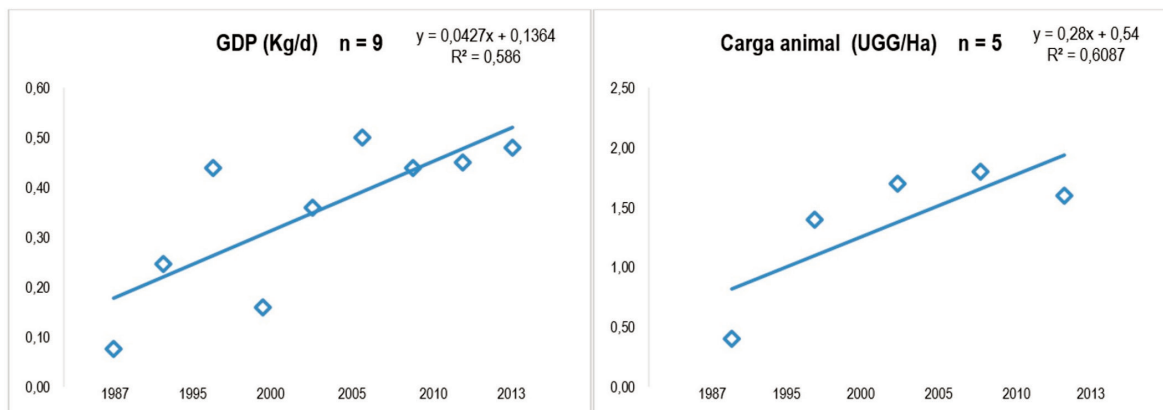


Figura 16. Reporte de la Ganancia diaria de peso, capacidad de carga (UGG/d) y Producción de leche (L/d) entre 1997 y 2015 en Colombia.

Fuente: el estudio 2018

CONCLUSIONES

El análisis comparado en el tiempo acerca del valor nutricional de los forrajes, y su respuesta en variables zootécnicas, constituye una herramienta muy importante para explicar y predecir el comportamiento nutricional de especies forrajeras y conocer el mejoramiento que se ha hecho en su calidad a través de los años.

En los estudios analizados, no se identificaron tendencias lineales ni un comportamiento lineal significativo a lo largo del tiempo, tanto para las variables asociadas a la calidad del forraje, como para las variables productivas, excepto las especies *Brachiaria sp* y *Paspalum s.p*, en las que se advierte una tendencia al aumento en la capacidad de carga entre los años estudiados UGG/ha ($r^2 = 0,54$ y $0,53$ respectivamente). A pesar de la baja significancia de la regresión se observó en las 9 especies un aumento sostenido en PC y DIVMS y reducción

en FDA (salvo en Raygrass y Angleton).

Debido al comportamiento estacional de los forrajes en el trópico, no solo en la oferta sino en su calidad nutricional, es importante adelantar estudios históricos relacionados con la disponibilidad de biomasa, calidad e indicadores zootécnicos en diferentes regiones del país, incorporando al estudio, variables climáticas y edáficas, edad y parte de la planta, época del año y tecnologías aplicadas en manejo de praderas.

LITERATURA CITADA

Álvarez Perdomo, G., Vivas Moreira, R., Suárez Fernández, G., Cabezas Congo, R., Jacho Macías, T., Llerena Guevara, T., Valverde Moreira, H., Moreira Palacios, E., García Martínez, A., Chacón Marcheco, E., Verdecia Acosta, D. (2016). *Componentes del rendimiento y composición química de Megathyrsus maximus en asociación con leguminosas*. REDVET. Revista Electrónica

- de Veterinaria, 17 (12),1-12. Recuperado 12 de junio de 2017 de <http://www.redalyc.org/html/636/63649052025/>
- Anrique, R. (2014). *Composición de alimentos para ganado bovino*. Universidad Austral de Chile. Recuperado 13 de junio de 2018 de <http://www.consorciolechero.cl/chile/documentos/composicion-de-alimentos-para-ganado-bovino.pdf>
- Barbosa, R. A., Nascimento Júnior, D. D., Vilela, H. H., Silva, S. C. D., Euclides, V. P. B., Sbrissia, A. F., y Sousa, B. M. D. L. (2011). *Morphogenic and structural characteristics of guinea grass pastures submitted to three frequencies and two defoliation severities*. Revista Brasileira de Zootecnia, 40 (5), 947-954. Recuperado 10 de mayo de 2018 de http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-35982011000500002&script=sci_arttext
- Beltrán, S., Hernández, A., García, E., Pérez, J., Kohashi, J., Herrera, J., Quero, A. y González, S (2005). Efecto de la altura y frecuencia de corte en el crecimiento y rendimiento del pasto Bufel (*Cenchrus ciliaris*) en un invernadero. *Agrociencia*, 39(2), 137-147. Recuperado 26 de abril de 2018 de <https://www.colpos.mx/agrocien/Bimstral/2005/mar-abr/art-2.pdf>
- Brizuela, E., Ferrando, C., y Blanco, L. (2005). Distribución vertical de hojas y de la relación hoja-tallo en *Trichloris crinita* diferida. In *Congreso Argentino de Producción Animal*. 28. 2005 10 19-21, 19 al 21 de octubre de 2005. Bahía Blanca. AR.
- Castro-Hernández, H., Domínguez-Vara, I. A., Morales-Almaráz, E., & Huerta-Bravo, M. (2017). *Composición química, contenido mineral y digestibilidad in vitro de Raigrás (Lolium perenne) según intervalo de corte y época de crecimiento*. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 8 (2), 201-210. Recuperado 13 de junio de 2018 de <http://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/4445/3735>
- Carulla J E, Cárdenas E, Sánchez N y Riveros C. (2004). *Valor nutricional de los forrajes más usados en los sistemas de producción lechera especializada de la zona andina colombiana*; En: Eventos y Asesorías Agropecuarias EU (ed.), Seminario Nacional de Lechería Especializada: "Bases Nutricionales y su Impacto en la Productividad". Medellín, septiembre 1 y 2: 21 – 38.
- Correa, H.J. (2011). *Efecto del manejo del pastoreo y la suplementación alimenticia en vacas lactantes de sistemas especializados sobre su metabolismo energético y proteico y el contenido de proteína en la leche*. Tesis de Doctorado en Ciencias de la Producción Animal, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia
- Denda, S. S. (2017). *Impacto de la fertilización nitrogenada sobre la producción y la composición química de trigo doble propósito y otros forrajes invernales: revisión bibliográfica*. Ciencia Veterinaria, 7 (1), 65-81. Recuperado 9 de mayo de 2018 de <https://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/veterinaria/article/view/1930>
- Detmann, E.; Paulino, M.F.; Zervoudakis, J.T.; Ceccon, P.R.; Valadares Filho, S.C.; Gonçalves, L.C.; Cabral, L.S. e Melo, A.J.N. (2004). *Níveis de proteína bruta em suplementos múltiplos para terminação de novilhos mestiços em pastejo durante a época seca: desempenho produtivo e características de carcaça*. Rev Bras Zootecn, 33, 169-180. Recuperado 18 de junio de 2018 de <http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbz/v33n1/a21v33n1.pdf>
- Corpoica y Universidad Nacional de Colombia. (2013). *Dichanthium aristatum* (Pasto Angleton).
- Del Pozo, P. P. (2004). *Bases ecofisiológicas para el manejo de los pastos tropicales*. Anuario Nuevo. Universidad Agraria de La Habana. Sitio Argentino de Producción Animal. Recuperado 4 de mayo de 2018 de http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/30-bases_ecofisiologicas_manejo_pasturas_tropicales.pdf
- Gándara, L., Borrajo, C. Fernández, J., Pereira, M (2017). *Efecto de la fertilización nitrogenada y la edad del rebrote sobre el valor nutritivo de Brachiaria brizantha cv "Marandú"*. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Unicuyo, 49 (1), 69-77. Recuperado 3 de junio de 2018 de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652017000100006
- García, F. A. L., Miranda, J. A., y Borge, W. A. C. (2017). *Producción y calidad de forraje con enmiendas orgánicas en pastura (Brachiaria Brizantha), en la Costa Caribe Sur de Nicaragua*. Revista Universitaria del Caribe, 18(1), 83-90. Recuperado 15 de mayo de 2018 de <http://www.revistasnicaragua.net.ni/index.php/caribe>
- García, D.; Noda, Y.; Medina, M.; Martín, G. y Soca, M. (2006). *La morera: Una alternativa viable para los sistemas de alimentación animal en el trópico*. Av. en Inv. Agropecuaria, 10(1), 55-72. Recuperado 8 de junio de 2018 de <http://www.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2006/enero/5.pdf>

- Elizondo-Salazar, J. A. (2017). *Producción de biomasa y calidad nutricional de tres forrajes cosechados a dos alturas*. Agronomía Mesoamericana, 28(2), 329-340. Recuperado 14 de mayo de 2018 de <http://www.redalyc.org/revista.oa?id=437&perfil=publicacion&tipo=coleccion>
- Heywood, V. H. (2008). *Challenges of in situ conservation of crop wild relatives*. Turk. J. Bot, 32, 421-432. Recuperado 10 de junio de 2018 de <http://journals.tubitak.gov.tr/botany/issues/bot-08-32-6/bot-32-6-1-0809-11.pdf>
- Jaramillo D., Jaramillo M., Restrepo L., Saglimbeni S. (2014). *Ceba de ganado angus en trópico alto con pasto kikuyo (Pennisetum clandestinum Exchiov.)*. Recuperado 13 de febrero de 2019 de http://bdigital.ces.edu.co:8080/repositorio/bitstream/10946/3874/1/Ceba_Ganado_Angus.pdf
- Juárez, L. F. I., Montero, L. M. y Núñez, H. G. (2011). *Limitaciones y potencial de los forrajes para mejorar la nutrición de bovinos en regiones tropicales*. En: Genómica y modelación en los nuevos escenarios de la ganadería bovina tropical. Segundo Simposio Internacional. Universidad Nacional de Colombia. 49-69 pp
- León, G. M.; Martínez, S. S. J.; Pedraza O. R. M. y González, P. C. E. (2012). *Indicadores de la composición química y digestibilidad in vitro de 14 forrajes tropicales*. Rev. Prod. Animal, 24(1), 1-5. Recuperado 14 de mayo de 2018 de <http://go.galegroup.com/ps/anonymouse?id=GALE%7CA466297473&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=02586010&p=AONE&sw=w>
- Mahecha, L., Escobar, J P Suárez, J.F., y Restrepo, LF (2007). *Tithonia diversifolia (hems) Gray (Botón de oro) como suplemento forrajero de vacas F1 (Holstein por cebú)*. Livestock Research for Rural Development. 19 (2), 1-4. Recuperado 25 de abril de 2018 de <http://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd19/2/mahe19016.htm>
- Milera, M. (2013). *Contribución de los sistemas silvopastoriles en la producción y el medio ambiente*. Avances en Investigación Agropecuaria, 7(3), 7-24. Recuperado 18 de abril de 2018 de <http://www.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2013/sept/1.pdf>
- Obrador-Olán, P., & Hernández-Sánchez, D., & Aranda-Ibáñez, E., & Gómez-Vázquez, A., & Camacho-Chiu, W., & Cobos-Peralta, M. (2007). *Evaluación de los forrajes de morera Morus alba y Tulipán Hibiscus rosa-sinensis a diferentes edades de corte como suplemento para cordeles en pastoreo*. Universidad y Ciencia, 23 (2), 115-125. Recuperado 16 de mayo de 2018 de <http://www.redalyc.org/html/154/15423203/>
- Ojeda, F., Pino- Bárbara N., Lamela, L., Santana, H, y Montejo, I. (2010). *Estudio de un ciclo de ceba con una dieta integral a base de forraje y hollejo de cítrico: Efecto de la calidad del forraje*. Pastos y Forrajes, 33(1). Recuperado 18 de junio de 2018, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942010000100007&lng=es&tlng=es.
- Peruchena, C. (2007). *Suplementación de bovinos en sistemas pastoriles*. Forrajes y alimentación Congreso Ganadero del Norte Argentino, Congreso CREA. Recuperado 14 de marzo de 2018 de <http://www.produccion-animal.com.ar>.
- Paciullo, D.C., Tavares de Castro, C., De Miranda Gomide, C. A., Rogério Martins, M., Ávila Pires M. Diaz Mülle, M., Deise Ferreira, X. (2011). *Performance of dairy heifers in a silvopastoral system*. Livestock Science, 141, 166-172. Recuperado 2 de mayo de 2018 de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871141311001971>
- Peñaherrera, A. (2015). *Producción y calidad forrajera de pasto Soboya (Panicum maximum Jacq) a diferentes edades y alturas de corte*. Tesis de pregrado. Universidad de las fuerzas armadas, Santo Domingo de los Tsáchilas.
- Posada, S., Ceron, J.M., Arenas, J., Hamedt, J., y Álvarez, A. (2014). *Evaluación del establecimiento de Raigrás (lolim sp.) en potreros de kikuyo (Pennisetum clandestinum) usando la metodología de cero labranzas*. Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia, 8 (1), 26-35. Recuperado 13 de junio de 2018 de <http://revistas.ces.edu.co/index.php/mvz/article/view/2831/2062>
- Rivera, J E., Cuartas, C A., Naranjo, J. F, Tafur, O., Hurtado, E. A., Arenas1, F A., Chará, J., y Murgueitio, E. (2015). *Efecto de la oferta y el consumo de Tithonia diversifolia en un sistema silvopastoril intensivo (SSPi), en la calidad y productividad de leche bovina en el piedemonte Amazónico colombiano*. Livestock Research for Rural Development, 27 (10), 1-9. Recuperado 25 de abril de 2018 de https://www.researchgate.net/publication/282606478_Efecto_de_la_oferta_y_el_consumo_de_Tithonia_diversifolia_en_un_sistema_silvopastoril_intensivo_SSPi_en_la_calidad_y_productividad_de_leche_bovina_en_el_piedemonte_Amazonico_colombiano_Effect_of_an_in
- Santana Pérez, Á. A., Pérez López, A., y Figueroa Acosta, M. E. (2010). *Efectos del estado de*

- madurez en el valor nutritivo y momento óptimo de corte del forraje Napier (*Pennisetum purpureum* Schum.) en época lluviosa. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 1(3) 277-286. Recuperado 5 de mayo de 2018 de <http://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1504/1499>
- Soto, C., Valencia, A., Galvis, R.D., y Correa, H.J.(2005). Efecto de la edad de corte y del nivel de fertilización nitrogenada sobre el valor energético y proteico del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(1) 17-26. Recuperado 15 de mayo de 2018 de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-06902005000100003
- Tobía, C, y Villalobos, E. (2004). *Producción y valor nutricional del forraje de soya en condiciones tropicales adversas*. *Agronomía Costarricense* 28(1), 17-25. Recuperado 3 de mayo de 2018 de <http://www.redalyc.org/pdf/436/43628102.pdf>
- Torregroza, L., Reza, S., Suárez, E., Espinosa, M., Cuadrado, H., Pastrana, I., Mejía, S., Jiménez, N., Abuabara, Y., (2015). *Producción de carne en pasturas irrigadas y fertilizadas de Brachiaria híbrido cv. Mulato II en el valle del Sinú*. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.* 16 (1), 131-138. Recuperado 30 de abril de 2018 de <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v16n1/v16n1a12.pdf>
- Treydet, A., Heitkonig, I., Prins, H and Ludwig, F., (2007). *Trees improve grass quality for herbivores in African Savannas*. *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* 8, 197-205. Recuperado 2 de mayo de 2018 de https://ac.els-cdn.com/S1433831907000121/1-s2.0-S1433831907000121-main.pdf?_tid=ce75354f-28b4-45d4-bdab-4b6979d8f72d&acdnat=1529336819_959ff2f92ca3a63a4206401a3e858e73
- Torregroza, L., Cuadrado, H., Pérez, J. (2006). *Producción de carne en novillos f1 Romo-Cebú con pasto Angleton (Dichanthium aristatum) ensilajes y suplementos en el valle del Sinú*. *Rev. MVZ Córdoba*, 11 (2), 825-829. Recuperado 13 de junio de 2018 de <http://www.scielo.org.co/pdf/mvz/v11n2/v11n2a07.pdf>
- Uvidia, H., Ramírez, J., Vargas, J., Leonard, I., & Sucoshañay, J. (2015). *Relación del clima con el rendimiento y la calidad del Pennisetum purpureum en la Amazonia Ecuatoriana*. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 16(6), 1-10. Recuperado 25 de mayo de 2018 de <http://www.redalyc.org/pdf/636/63641399005.pdf>
- Vasquez O., Smith TR. (2000). *Factors Affecting Pasture Intake and Total Dry Matter Intake in Grazing Dairy Cows*. Recuperado 13 de febrero de 2019 en [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(00\)75117-4/abstract](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(00)75117-4/abstract)
- Verdecia DM., Herrera R S., Ramírez J L., Leonard I., Uvidia H., Álvarez Y., Paumier Z., Arceo Y., Santana, A. y Almanza, D. (2015). *Potencialidades agroproductivas de dos cultivares de Megathyrus maximus en la región oriental de Cuba*. *Revista electrónica de Veterinaria*, 16 (11).1-9. Recuperado 30 de marzo de 2018 de <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n111115/111501.pdf>
- Villalobos, L y Sánchez, J.M. (2010). *Evaluación agro-nómica y nutricional del pasto Rygrass perenne tetraploide producido en las lecherías de las zonas altas de Costa Rica, producción de biomasa y fenología*. *Agronomía Costarricense*, 34(1), 31-42. Recuperado 13 de junio de 2018 de <http://www.redalyc.org/pdf/436/43617800004.pdf>
- Veloza, J. (2008). *Evaluación económica y nutricional de un programa complementario de la fertilización edáfica a base de aminoácidos y calcio de aplicación foliar en praderas de kikuyo - Ryegrass en la sabana de Bogotá*. Trabajo de grado para optar al título de Zootecnista. Universidad de la Salle. Bogotá.

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.

FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN EL BAÑO DEL GANADO

HETEROGENEOUS PHOTOCATALYSIS FOR THE TREATMENT OF WASTEWATER FROM CATTLE BATH

¹ **Arnulfo Estrada-Martínez**, ² **José Ortega-Ruiz**, ³ **Iván Urango-Cardenas**,
⁴ **German Enamorado-Montes**, ⁵ **José Marrugo-Negrete**

^{1,2,3,4 y 5} *Universidad de Córdoba, Colombia*

¹ aresma74@gmail.com; ² jortegar Ruiz@correo.unicordoba.edu.co;

³ ivanurango@correo.unicordoba.edu.co; ⁴ genamoradomontes@correo.unicordoba.edu.co;

⁵ jmarrugo@correo.unicordoba.edu.co

RESUMEN

Las actividades ganaderas, además de utilizar grandes volúmenes de agua, generan una alta carga de contaminantes, especialmente de tipo orgánico, los cuales llegan directamente a las fuentes de agua natural alterando la calidad de las mismas. Debido a lo anterior, el objetivo del siguiente trabajo fue encontrar las condiciones óptimas de operación de un sistema de fotocátalisis heterogénea con TiO_2 mediada con luz solar para el tratamiento de aguas residuales provenientes del baño de ganado; para ello se especificaron dos niveles de pH (5,0 y 7,0) y dos niveles de concentración de TiO_2 (0,4 y 0,6 g/L). En cada tratamiento se recircularon 40 L del agua residual en un colector parabólico compuesto solar durante 240 minutos. La eficiencia del sistema y la cinética de degradación se determinaron en términos de la demanda química de oxígeno (DQO). Las remociones de DQO

en los tratamientos fueron mayores al 50 %, mientras que el diseño experimental Taguchi y la mejor relación señal/ruido ($R_{S/R}$) mostraron que las condiciones óptimas de operación se obtienen para un pH igual a 5,0 y una concentración de TiO_2 de 0,6 g/L alcanzando remociones del 83,2 %. La cinética de degradación fue de primer orden con mayores velocidades de reacción para las mayores cantidades de UV acumulada ($>142,9 \text{ W h/m}^2$). Por lo tanto, la fotocátalisis heterogénea con TiO_2 mediada por luz solar resulta ser un tratamiento viable para la remoción de contaminantes de tipo orgánico en efluentes afectados por el desarrollo de actividades ganaderas.

Palabras claves: Contaminantes Orgánicos; Ganadería; Tratamiento del agua, Fotocatálisis heterogénea

ABSTRACT

Livestock activities, in addition to using large volumes of water generate a high load of pollutants, especially of organic type, which arrive directly at natural water sources altering their quality. Due to the above, the aim of the following research was to find the optimal operating conditions of a heterogeneous photocatalysis system with TiO_2 mediated with sunlight for the treatment of wastewater from the cattle bath; For this purpose, two pH levels (5.0 and 7.0) and two levels of TiO_2 concentration (0.4 and 0.6 g/L) were specified. In each treatment, 40 L of the wastewater was recirculated in a solar composite parabolic collector for 240 minutes. The efficiency of the system and the kinetics of degradation were determined in terms of chemical oxygen demand (COD). The COD removals in the treatments

were greater than 50 %, while the Taguchi experimental design and the best signal/noise ratio ($R_{S/N}$) showed that the optimal operating conditions are obtained for a pH equal to 5.0 and a concentration of TiO_2 of 0.6 g/L reaching removals of 83.2%. The degradation kinetics was of first order with higher reaction rates for the highest amounts of accumulated UV ($> 142.9 \text{ W h/m}^2$). Therefore, heterogeneous photocatalysis with TiO_2 mediated by sunlight turns out to be a viable treatment for the removal of organic pollutants in effluents affected by the development of livestock activities.

Keywords: Organic Pollution; Livestock; Pesticides; Water treatment; heterogeneous photocatalysis.

INTRODUCCIÓN

En Latinoamérica, los problemas de índole parasitaria afectan las explotaciones ganaderas causando gran impacto sanitario y económico en dicha actividad, lo que motiva la utilización de pesticidas como antiparasitarios de uso interno y externo (López *et al.*, 2009; Martínez y Cruz, 2009). A pesar de que estos pesticidas representan un beneficio en la eliminación y prevención de estos parásitos, su impacto ambiental negativo requiere estrategias efectivas de manejo y tratamiento de sus residuos. En la actualidad, las granjas ganaderas no cuentan con un tratamiento adecuado para las aguas residuales que se generan como producto de sus actividades y en las que se han detectado residuos de plaguicidas, tales como la cipermetrina y algunos sinérgicos como el Butoxido de Piperonilo, además de altas cargas de materia orgánica (Marrugo-Negrete *et al.*, 2016), lo cual se refleja en altos valores de parámetros fisicoquímicos como la DQO, que

se relaciona directamente con la cantidad de compuestos orgánicos oxidables en una muestra líquida.

La fotocatalisis heterogénea es una tecnología avanzada de oxidación que permite la degradación y la mineralización de gran variedad de compuestos orgánicos (Garcés *et al.*, 2004). El proceso se basa en la excitación de un fotocatalizador sólido, normalmente semiconductor de banda ancha, sumergido en una solución, el cual, mediante la absorción de energía radiante (visible o UV), origina reacciones simultáneas de oxidación y reducción en diferentes zonas de la región interfacial (Peiró, 2003). El catalizador más utilizado es la forma cristalina anatasa del dióxido de titanio (TiO_2), por ser muy activo para la fotocatalisis, económico, inerte y resistente a la fotocorrosión. Una de las ventajas de este proceso es su capacidad de destruir prácticamente cualquier tipo de sustancia

orgánica, incluidas mezclas complejas. En este sentido, es capaz de descomponer incluso sustancias cuyo tratamiento, empleando otros métodos, es difícil o peligroso, tales como las dioxinas, bifenilos policlorados, pesticidas, colorantes o fármacos (Colina-Márquez y Castilla-Caballero, 2013; Dasary *et al.*, 2010; Son *et al.*, 2009; Samara *et al.*, 2015; Raza *et al.*, 2015). Por lo anterior, esta tecnología actualmente se ha implementado para la degradación fotocatalítica de contaminantes emergentes usados en el baño del ganado, obteniendo resultados satisfactorios (Barrios y Yepes, 2010).

La fuente de energía del proceso fotocatalítico es la radiación UV, la región caribe donde se encuentra el departamento de Córdoba en Colombia recibe entre 1.730 y 2.000 kW.m⁻². año⁻¹, comparado con los lugares donde se reciben las mayores radiaciones del mundo (2.500 kW.m⁻².año⁻¹), presenta la ventaja de que la variación mensual de la radiación global frente a la media anual es pequeña (Rodríguez, 2008), la implementación de tecnologías que aprovechen la radiación solar en esta región podrían ser favorables. Por lo anterior, este trabajo se propone optimizar un sistema fotocatalítico con TiO₂ como catalizador y luz solar como fuente de UV para el tratamiento de aguas contaminadas con compuestos orgánicos tales como plaguicidas provenientes del baño de ganado, utilizando como parámetro de monitoreo la medición de DQO, con el fin de brindar un tratamiento adecuado a los residuos generados durante las actividades agrícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de la muestra:

El agua residual se obtuvo de una finca ganadera del departamento de Córdoba (Colombia), situada en zona rural del Municipio de Montería. Esta Finca utiliza el baño de los animales

con bomba de espalda como método para el control de ectoparásitos. En este método se adiciona un acaricida a una dosis sugerida por el fabricante (1,0 mL del producto comercial por cada litro de agua). La muestra fue obtenida después del lavado de los corrales desde los canales de recolección del establecimiento, y se almacenó en recipientes plásticos de 250 L hasta su transporte hacia la Universidad de Córdoba, donde se encontraba el sistema de fotocátalisis heterogénea (Figura 1). Con el fin de remover los sólidos y disminuir la turbidez, la muestra fue pretratada con un filtro lento de arena de tipo descendente-ascendente, según lo descrito por Durango *et al.*, (2014).

Sistema piloto de fotocátalisis heterogénea:

El sistema consistió de un colector parabólico compuesto (CPC) como el descrito por Colina-Márquez *et al.*, (2009), conformado por 10 tubos de borosilicato (Duran® de Schott) con 1,2 m de longitud, 32,0 mm de diámetro externo y 1,4 mm de espesor, reflectores parabólicos de aluminio anodizado (1,1 m de longitud). Todo el conjunto se ubicó sobre un soporte de hierro de dimensiones 2,95 × 0,60 × 0,95 m. El colector CPC fue conectado a un tanque plástico de 70 L que contenía el agua residual, mientras que una electrobomba de 0,5 hp con un caudal aproximado de 30 L/min permitió el flujo del agua en el sistema. El volumen irradiado es de 8,23 L, y el área expuesta de 1,21 m². El catalizador empleado fue TiO₂ Degussa P-25 con un área superficial específica de 50 m²/g; densidad de 4,1 g/cm³; absorptividad específica k de 174,74 m²/kg; coeficiente de dispersión σ de 1295,75 m²/kg. La radiación UV solar se midió con un sensor Acadus 85-PLS (rango entre 300 y 400 nm), las lecturas se registraron con un monitor FMC-3000 de Design Instruments. Un esquema general se muestra en la figura 1.

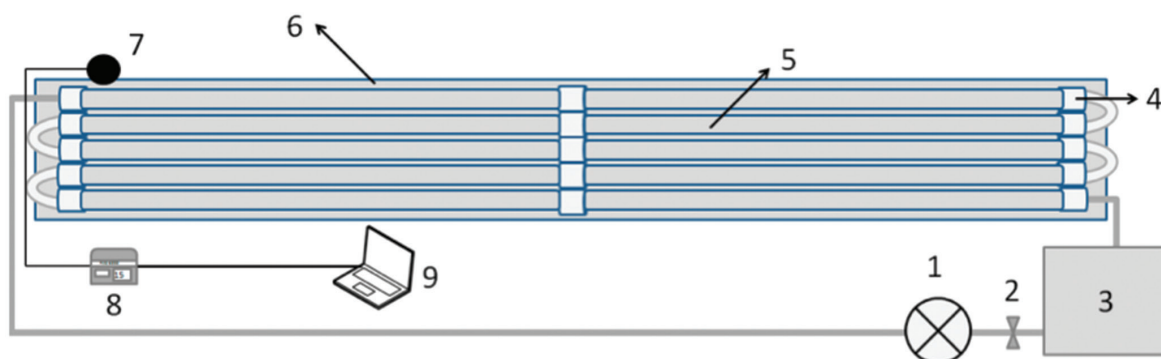


Figura 1. Esquema del sistema fotocatalítico empleado para el experimento. 1) Electrobomba; 2) llave de paso 3) tanque de almacenamiento de 70 L; 4) conexiones de 1 in en PVC; 5) tubos de borosilicato; 6) reflectores de aluminio anodizado; 7) sonda de medición; 8) monitor FMC-3000; 9) Computador con el software Proasis Dcswin 3.57.

Operación del sistema fotocatalítico:

Los experimentos se realizaron en los meses de abril y mayo, en el Campus de la Universidad de Córdoba, Montería, Colombia (8° 47' 21.43" Norte y 75° 51' 30.64" Oeste). La zona se caracteriza por presentar entre 6 y 8 horas diarias de radiación solar durante todo el año (UPME-IDEAM, 2005). En cada ensayo, se recirculaban 40 L de muestra filtrada durante 4 horas en el sistema fotocatalítico, desde las 10:00 horas hasta las 14:00 horas, estudios realizados en el mismo campus universitario destacan las más altas radiaciones durante este rango de horas (Mercado y Vergara, 2014). El pH inicial fue medido con una consola Thermo Scientific Orion 4 Star y un electrodo de pH de cuerpo epóxico 5107BNMD, para el ajuste de pH se emplearon soluciones 1N de HCl o NaOH. Para todos los ensayos, el TiO_2 adicionado fue recirculado durante 20 minutos en oscuridad, con el fin de lograr el equilibrio de adsorción en la superficie de la matriz.

Determinación de Demanda Química de Oxígeno (DQO):

Se retiró cualquier exceso de TiO_2 mediante centrifugación durante 3 minutos a 2.500 rpm. Las muestras se analizaron por el método espectrofotométrico tras la digestión de las

mismas con solución ácida bajo reflujo cerrado de acuerdo con el procedimiento estándar de análisis SM 5220D (APHA-AWWA-WEF, 2005).

Eficiencia del sistema de fotocatálisis heterogénea:

La eficiencia del sistema se expresó en términos de la remoción de DQO, calculada de acuerdo con la ecuación 1:

$$\% \text{remoción DQO} = \frac{C_0 - C_i}{C_0} \times 100\%$$

Donde, C_0 es la concentración de DQO inicial de la muestra en mg/L y C_i es la concentración de DQO en mg/L después de 240 minutos de tratamiento.

Optimización de las condiciones de operación del sistema fotocatalítico:

Para optimizar el sistema, se consideró la concentración de TiO_2 y el pH inicial como variables controlables, y la cantidad de energía acumulada UV como variable no controlable o de ruido (tabla 1), el porcentaje de remoción de DQO fue la variable de respuesta. Se empleó el diseño experimental de Taguchi, el cual consistió de un arreglo ortogonal L8 (2^3) para 8 corridas con una réplica. Debido a que

el objetivo fue maximizar la remoción de DQO, identificando los valores óptimos de pH y concentración de TiO_2 que brinden robustez al diseño. En cuanto a las variaciones en la energía UV acumulada, el criterio estadístico elegido fue "Mayor es mejor", en donde la $R_{S/R}$ se calcula a partir de la ecuación 2, en la cual se tiene "n" lecturas, Niveles con mayor $R_{S/R}$ son más favorables para la degradación de DQO, indicando que el proceso es menos sensible a la variación de la radiación solar.

$$\frac{S}{R} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum Y_i^{-2} \right]$$

Tabla 1. Factores experimentales del diseño Taguchi

Factores	Unidades	Tipo	NIVELES	
			Bajo	Alto
A:pH	unidad	Controlable	5,0	7,0
B: TiO_2	g/L	Controlable	0,4	0,6
C:UV	W·h/m ²	Ruido	<142,9	≥142,9

Los niveles de las variables TiO_2 y pH, fueron seleccionados de acuerdo con los resultados obtenidos por Malato *et al.*, (2001). Para el TiO_2 (0,4 y 0,6 g/L), concentraciones por debajo de 0,2 g/L no presentan una buena área superficial para garantizar una adecuada adsorción y, por encima de 1,0 g/L¹, producen un efecto de apantallamiento que reduce la velocidad de reacción. Por otro lado, valores bajos de pH favorecen la eficiencia del proceso fotocatalítico, por lo que se consideró para el nivel bajo un pH de 5,0 y para el nivel alto un pH de 7,0, cercano al pH natural de la muestra (7,45).

Se trabajó con dos niveles para la variable ruido, obtenidos a partir de mediciones realizadas durante 15 días previos al inicio del experimento, en los que se registró la radiación solar acumulada para las 4 horas de trabajo

previamente seleccionadas. Se establecieron días nublados y soleados de acuerdo con el promedio de energía UV acumulada. Se consideró, como nivel bajo, las radiaciones solares acumuladas menores que 142,9 W h/m² y, como nivel alto, las mayores o iguales a 142,9 W h/m².

CINÉTICA DE DEGRADACIÓN

Para el estudio cinético se trabajó con las condiciones óptimas de operación arrojadas por el diseño experimental Taguchi. Se tomaron muestras a diferentes tiempos de operación del sistema: 0, 30, 60, 120, 180 y 240 minutos y se determinó la concentración de DQO. La ecuación 3 es una expresión no-lineal (exponencial) simplificada de la cinética de Langmuir-Hinshelwood, la cual describe de manera acertada la degradación de compuestos orgánicos en procesos de fotocátalisis heterogénea, reduciendo el error de la ecuación lineal (Asenjo *et al.*, 2013).

$$C = C_0 \exp(-k_{app}t)$$

Donde C_0 es la concentración inicial (mg/L), C es la concentración (mg/L) en el tiempo t (min) y k_{app} es la constante de velocidad aparente (min⁻¹).

Resultados y discusión

La muestra de agua residual recolectada evidenció un alto contenido de DQO (1996,8 mg/L) y de fósforo total (31,05 mg/L), estas concentraciones son comunes en este tipo de muestras (Lim *et al.*, 2012; Carvalho *et al.*, 2013; Tak *et al.*, 2015) y demuestran una urgente necesidad de tratamiento, dado que los valores de DQO superan lo establecido por la reglamentación Colombiana en la resolución 0631 de 2015 emitida por el ministerio de ambiente (500 mg/L O₂) para vertimientos puntuales de aguas residuales de actividades ganaderas a cuerpos de agua superficiales. En la tabla 2 se

observan las características del agua residual, se puede notar que, luego del pretratamiento por filtración, el agua permanece con una concentración elevada de DQO (998,4 mg/L). Por otro lado, el pH del agua filtrada se acerca a la neutralidad (seleccionado como el nivel alto para la variable pH).

Tabla 2. Características del agua residual proveniente del baño de ganado antes y después del filtrado.

	Muestra Inicial	Muestra Filtrada
pH	7,45±0,35	7,15±0,39
DQO, mg/L	1996,8±15,5	998,4±11,5
Fósforo total, mg/L	31,05±0,94	19,37±0,52
Sólidos suspendidos totales, mg/L	141,46±10,92	75,10±8,35

* Los valores corresponden a promedios de triplicados de análisis

Eficiencia del sistema fotocatalítico y condiciones óptimas de operación

Los porcentajes más bajos de eliminación de DQO se presentaron para las radiaciones UV <142,9 W h/m², con una concentración de TiO₂ de 0,4 g/L y pH de 7,0 (51,28 %). Por su parte las mejores remociones se lograron a pH de 5,0, concentración de TiO₂ de 0,6g/L y UV acumulada alta, lográndose remociones superiores al 80 % (tabla 3). En ensayos por fotocátalisis heterogénea de aguas contaminadas con compuestos orgánicos (Gil *et al.*, 2006) se utilizaron procesos avanzados de oxidación como la fotocátalisis heterogénea y homogénea para la degradación de colorantes, evaluando los porcentajes de degradación de DQO como una de las variables respuestas y alcanzando valores superiores al 66 % de degradación. Vázquez *et al.*, (2010) evaluaron la degradación del plaguicida Clorotalonilo (400 mg/L) obteniendo un 95 % de remoción tras cuatro horas de tratamiento a una concentración de

TiO₂ de 0,5 g/L y a pH 3,0. Arroyave y Garcés (2011) estudiaron la remoción del pesticida Mertect por fotocátalisis heterogénea con TiO₂ bajo luz artificial UV, alcanzando remociones del 99,5 % para una carga de catalizador de 0,5 g/L y un pH de 5,0. Fenoll *et al.*, (2012), Reportaron remociones de hasta un 70 % en la degradación de cinco plaguicidas triazínicos y tres cloroacetanilidas mediante fotocátalisis heterogénea con TiO₂ y ZnO, con cargas de catalizador entre 0 a 250 mg/L, al incrementarse la concentración del catalizador las remociones fueron mayores, mientras que variaciones de pH en el rango de 6,0 a 9,0 no significaron mejorías en las eficiencias de remoción para tiempos de irradiación de 240 minutos.

Tabla 3. Resultados porcentaje de degradación de la DQO. Arreglo interno y externo, diseño experimental de Taguchi.

Arreglo interno		Arreglo externo	
A: pH	B: [TiO ₂]	C: UV Baja	C: UV Alta
5,0	0,4	74,81 %	80,32 %
7,0	0,4	51,28 %	73,95 %
5,0	0,6	76,94 %	83,16 %
7,0	0,6	66,07 %	77,68 %

Las condiciones óptimas de operación del sistema fueron calculadas estadísticamente mediante la respuesta de la $R_{S/R}$, como se observa en la figura 2. Los niveles con mayor $R_{S/R}$ son los más favorables para la remoción de la DQO. Para el presente trabajo se encontró que un pH de 5,0 ($R_{S/R}$ de 37,92) y una concentración de TiO₂ de 0,6 g/L ($R_{S/R}$ de 37,58), representan condiciones en las cuales se da la degradación del contaminante sin que el proceso se vea afectado significativamente por la variabilidad del factor ruido. Otros estudios también demuestran que la degradación de plaguicidas como la cipermetrina mediante fotocátalisis heterogénea usando TiO₂, se

ve favorecida a un pH ácido (Yao *et al.*, 2007; Affam y Chaudhuri, 2013), bajo ciertas condiciones de pH las sustancias orgánicas pueden disociarse y adquirir una carga neta negativa,

favoreciendo su adsorción hacia la superficie del catalizador cargada positivamente bajo estas condiciones (Valencia *et al.*, 2011; Gao *et al.*, 2011; Vineetha *et al.*, 2013).

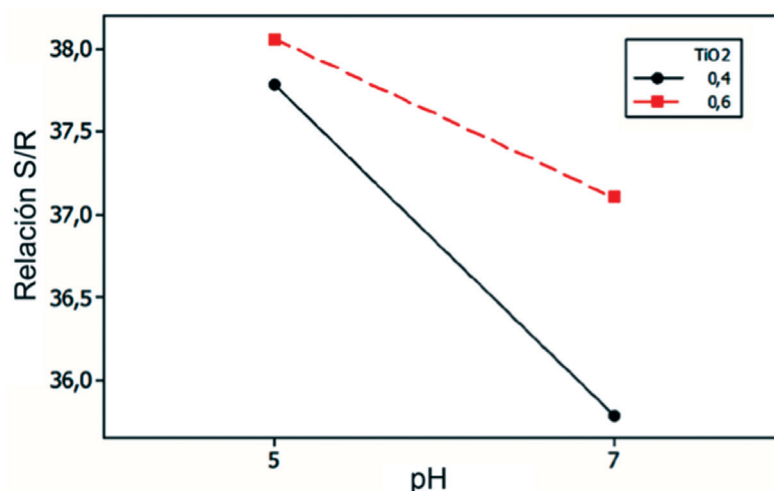


Figura 2. Interacción de las variables de estudio de acuerdo con relaciones S/R empleando el estadístico "más grande es mejor".

Efectos del pH y la concentración de TiO_2 sobre la remoción:

Para el análisis estadístico ANOVA se consideró la radiación UV acumulada como el error experimental. En el ANOVA de la tabla 5 se aprecia que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tipos de tratamiento, tanto para los efectos como en su interacción, para un nivel de confianza del 95 %. El valor de la suma de cuadrados del error experimental resultó muy significativo, indicando que la radiación UV acumulada, a pesar de haber

sido considerada como el factor ruido para el diseño experimental, representó un impacto muy considerable sobre el porcentaje de degradación del contaminante, siendo lo esperado, puesto que la cantidad de fotones absorbidos en el proceso depende directamente de la cantidad de energía radiante UV acumulada lo que aumenta las probabilidades de generación de pares electrón/huecos en la superficie del catalizador y de radicales OH, lo cual aumenta las reacciones de oxidación del contaminante y por lo tanto, su degradación.

Tabla 5. Análisis de varianza para las remociones de DQO, sin considerar la radiación acumulada, representada en el error experimental.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:pH	267,383	1	267,383	2,98	0,1594
B:TiO ₂	68,9725	1	68,9725	0,77	0,4301
AB (pH*TiO ₂)	22,9503	1	22,9503	0,26	0,6396
Error total	358,885	4	89,7212		
Total corregido	718,19	7			

Cinética de degradación:

El proceso de degradación fotocatalítica de la DQO en muestras reales de aguas residuales provenientes del baño de ganado se explica por una cinética de Langmuir-Hinshelwood de primer orden, puesto que los puntos experimentales se ajustan mejor a la ecuación exponencial, con una correlación de 0,9892 para radiación UV alta, y 0,9380 para radiación UV baja; mientras que la cinética de reacción de orden cero presentó un R de 0,9447 y 0,9350 para radiaciones acumuladas altas y bajas respectivamente, y la cinética de pseudo segundo orden fue la que mostró más bajos valores de correlación, 0,9074 y 0,8903. La cinética de primer orden de Langmuir-Hinshelwood intenta explicar las reacciones que ocurren en la superficie del catalizador, asumiendo que este tiene siempre la misma capacidad de adsorción y no considera las interacciones entre las moléculas absorbidas. Muchos estudios sobre

procesos fotocatalíticos heterogéneos para la degradación de compuestos orgánicos, en muestras reales y sintéticas, se han estudiado y comprobado mediante este tipo de cinética (Son *et al.*, 2009; Khan *et al.*, 2010; Sahoo *et al.*, 2012; Montazerzohori *et al.*, 2012; Zhao *et al.*, 2014; da Silva *et al.*, 2015). Por lo anterior, se deduce que la velocidad de reacción en el porcentaje de degradación de la DQO depende, en gran medida, de la concentración inicial del plaguicida. El coeficiente de determinación R de 0,9892 indica que el 98,92 % de la respuesta observada en la remoción de la DQO puede explicarse por el tiempo de exposición para UV alta, así mismo, el coeficiente de determinación R de 0,938 indica que el 93,8 % de la respuesta observada en la remoción de la DQO puede explicarse por el tiempo de exposición para UV baja, como se muestra en la figura 3.

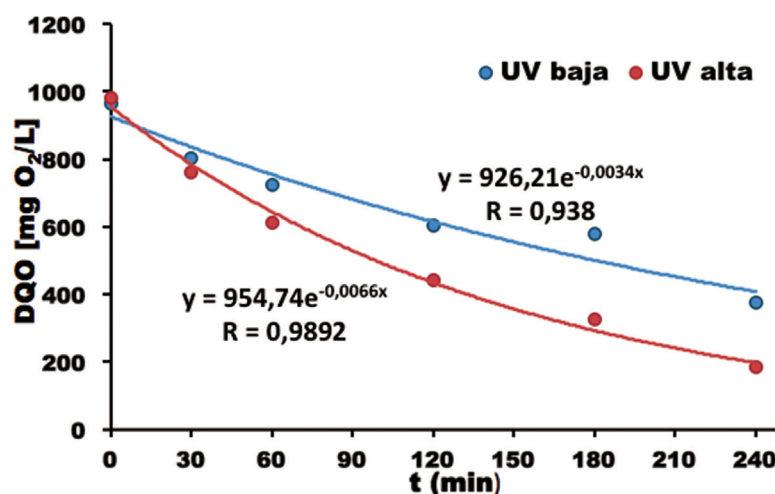


Figura 3. Cinética de primer orden para las condiciones óptimas encontradas pH 5.0 concentración de TiO_2 0.6 g.L⁻¹ con energía UV acumulada alta y baja.

Las constantes de velocidad aparente k_{app} fueron 0,0066 min⁻¹ para radiación UV alta, y 0,0034 min⁻¹ para radiación UV baja, indicando una mayor tasa de degradación durante los

días soleados que durante días nublados. Lo anterior se explica debido a que durante los ensayos realizados con radiación UV acumulada baja aproximadamente un 50 % de los

fotones UV disponibles en la radiación solar se encuentran en el componente difuso (Giménez *et al.*, 1999), limitando el aprovechamiento de los fotones disponibles para la generación del par – hueco e_{bv}^- y h_{bc}^+ . En la radiación acumulada alta, donde la disponibilidad de fotones genera suficientes radicales OH, la cinética de degradación está determinada, principalmente, por la concentración del contaminante, duplicando el valor de la constante cinética aparente.

CONCLUSIONES

El tratamiento por fotocatálisis heterogénea en aguas residuales del baño de ganado permitió alcanzar porcentajes de remoción de DQO mayores al 80 % en un tiempo de 4 horas, este proceso fue más eficiente para radiaciones acumuladas altas que para acumuladas bajas. A pesar de la necesidad de radiaciones adecuadas para la activación del catalizador, la radiación solar puede resultar una fuente de energía óptima para realizar procesos fotocatalíticos en el campus de la universidad de Córdoba y en fincas agropecuarias del departamento, puesto que la posición astronómica de la región permite presentar condiciones de radiación similares en todo el territorio, por lo tanto la fotocatálisis heterogénea con TiO_2 mediada por luz solar puede ser un tratamiento viable para la remoción de la carga de DQO en efluentes contaminados en estas explotaciones ganaderas. El proceso fotocatalítico fue favorecido por un pH ácido, donde la diferencia de cargas entre el catalizador y el contaminante favorecían el proceso de adsorción, denotando la importancia del pH del medio. Igualmente, las condiciones óptimas del diseño Taguchi sugieren un nivel alto para la concentración de TiO_2 si se quieren lograr las mejores eficiencias y lograr una mayor cantidad de pares electrón/huecos que aumenten la degradación del contaminante, sin sobrepasar concentraciones mayores a 1.0 g.L^{-1} .

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Colombiano de Desarrollo de Ciencias y Tecnología "Francisco José Caldas" COLCIENCIAS y a la Universidad de Córdoba, Colombia, por el convenio No. 549-2012

BIBLIOGRAFÍA

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environmental Federation (WEF) (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21st ed., Maryland, Port City Press.
- Affam A. y Chaudhuri M. (2013). *Degradation of pesticides chlorpyrifos, cypermethrin and chlorothalonil in aqueous solution by TiO_2 photocatalysis*. Journal of Environmental Management, volumen 130. pp. 160-165.
- Arroyave J.A. y Garcés L.F. (2011). *Evaluación de la degradación del pesticida Mertect empleando procesos avanzados de oxidación (PAO)*. Producción + Limpia, volumen 6 (número 2). pp. 9-18.
- Asenjo N., Santamaría R., Blanco C., Granda M., Álvarez P., Menéndes R. (2013). *Correct use of the Langmuir-Hinshelwood equation for proving the absence of a synergy effect in the photocatalytic degradation of phenol on a suspended mixture of titania and activated carbon*. Carbon, Volumen 55, 62-69.
- Barrios Barrios J., Yopez Montes J. (2010). *Evaluación del modelo de la cinética de degradación fotocatalítica solar en un reactor CPC de un pesticida usado en el baño de ganado*. Trabajo de Grado Programa de Ingeniería Química - Universidad De Cartagena, p. 66.
- Carvalho P., Araujo J., Mucha A., Basto M., Almeida C. (2013). *Potential of constructed wetlands microcosms for the removal of veterinary pharmaceuticals from livestock wastewater*. Bioresource Technology, volumen 134, pp. 412-416.
- Colina-Marquez J., Machuca-Martinez F., Puma G. (2009). *Photocatalytic Mineralization of Commercial Herbicides in a Pilot-Scale Solar CPC Reactor: Photoreactor Modeling and Reaction Kinetics Constants Independent of Radiation Field*. Environmental Science & Technology, volumen 43 (número 23), pp. 8953-8960.

- Colina-Márquez J. y Castilla-Caballero D. (2013) *Mineralización fotocatalítica de agua residual contaminada con dicloxacilina comercial en un reactor solar CPC a escala piloto*. Ingeniería y Competitividad, volumen 15 (número 1), 161-169.
- da Silva S., Klauck C., Siqueira M., Bernardes A. (2015). *Degradation of the commercial surfactant nonylphenol ethoxylate by advanced oxidation processes*. Journal of Hazardous Materials, volumen 282, pp. 241-248.
- Dasary S., Saloni J., Fletcher A., Anjaneyulu Y., Yu H. (2010). *Photodegradation of Selected PCBs in the Presence of Nano-TiO₂ as Catalyst and H₂O₂ as an Oxidant*. International Journal of Environmental Research and Public Health, volumen 7 (número 11), pp. 3987-4001.
- Durango J, Urango I, Pinedo J, Burgos S, Estrada A, Ortega J, Taboada R, Figueroa J, Marrugo J, Enamorado G. (2014). *Evaluación un filtro lenta de arena, de tipo descendente-ascendente, para el tratamiento de efluentes ganaderos contaminados con cipermetrina*. Memorias VII Seminario Internacional de Gestión Ambiental y II Seminario de Ciencias Ambientales Sue-Caribe, Santa Marta, Colombia, [consulta, 12 de noviembre de 2014]. Recuperado de : <http://maestriaambiental.com/maestria/seminarioii/pages/memorias>.
- Fenoll J., Hellin P., Martínez C., Flores P., Navarro S. (2012). *Semiconductor-sensitized photodegradation of s-triazine and chloroacetanilide herbicides in leaching water using TiO₂ and ZnO as catalyst under natural sunlight*. Journal of Photochemistry and Photobiology a-Chemistry, volumen 238, pp. 81-87.
- Gao M., Wang X., Guo M., Zhang M. (2011). *Contrast on COD photo-degradation in coking wastewater catalyzed by TiO₂ and TiO₂-TiO₂ nanorod arrays*. Catalysis Today, volumen 174 (número 1) pp. 79-87.
- Garcés L., Mejía E., Santamaria J. (2004). *La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales*. Revista Lasallista de Investigación, volumen 1, pp. 83-92.
- Gil Pavas E., Quintero Olaya L., Rincón Uribe M., Rivera Agudelo D. (2006). *Degradación de colorantes de aguas residuales empleando UV/TiO₂/H₂O₂/Fe²⁺*. REVISTA Universidad EAFIT, Volumen 42 (numero 146), pp. 80-101
- Giménez J., Curcó D., Queral M.A. (1999). *Photocatalytic treatment of phenol and 2,4-dichlorophenol in a solar plant in the way to scaling-up*. Catalysis Today, volumen 54 (número 2-3) pp. 229-243.
- Khan U., Benabderrazik N., Bourdelais A., Baden D., Rein K., Gardinali P., Arroyo L., O'Shea K. (2010). *UV and solar TiO₂ photocatalysis of brevetoxins (PbTx_s)*. Toxicon, volumen 55 (número 5), pp. 1008-1016.
- Lim S., Park W., Kim T., Shin I. (2012). *Swine wastewater treatment using a unique sequence of ion exchange membranes and bioelectrochemical system*. Bioresource Technology, volumen 118, pp. 163-169.
- López G., Grissi C., Gómez J., Valencia L.A., González D. (2009). *Evaluación de una mezcla de cipermetrina + clorpirifós sobre la garrapata rhipicephalus(boophilus) microplus en pruebas de campo y de laboratorio en el predio Esteban Jaramillo Román Gómez del Politécnico Colombiano de Marinilla, Antioquia*. Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia, volumen 4 (número 2), pp. 57-65.
- Malato S., Blanco J., Estrada C., Bandala R. (2001). *Degradación de plaguicidas, en Blesa M. Eliminación de contaminantes por fotocatalisis heterogénea*. Buenos Aires, Red CYTED, pp. 269-281.
- Marrugo-Negrete J., Ortega-Ruiz J., Navarro-Frómata A., Enamorado-Montes G., Urango-Cárdenas I., Pinedo-Hernández J., Durango-Hernández J., Estrada-Martínez A. (2016). *Remoción de cipermetrina presente en el baño de ganado utilizando humedales construidos*. Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria, volumen 17 (número 2), pp. 203-216.
- Martínez I. y Cruz M. (2009). *El uso de químicos veterinarios y agrícolas en la zona ganadera de Xico, centro de Veracruz, México y el posible impacto ambiental*. Acta Zoológica Mexicana, volumen 25 (número 3), pp. 673-681.
- Mercado T. y Vergara A. (2014). *Bombeo de agua con energía solar fotovoltaica: una opción sostenible*, en Memorias VII Seminario Internacional de Gestión Ambiental y II Seminario de Ciencias Ambientales Sue-Caribe, Santa Marta, Colombia, 2014 [consulta, 12 de noviembre de 2014]. Recuperado de: <http://maestriaambiental.com/maestria/seminarioii/pages/memorias>.
- Ministerio de Minas y Energía -Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2005). *Atlas de Radiación*

- Solar de Colombia*. Bogotá, Colombia. [consulta, 22 de febrero de 2015]. Recuperado de: <http://www.si3ea.gov.co/Home/EnergiaSolar/tabid/74/language/en-US/Default.aspx>
- Montazerozohori M., Nasr-Esfahani M., Joohari S. (2012). *Photocatalytic degradation of an organic dye in some aqueous buffer solutions using nano titanium dioxide: a kinetic study*. Environment Protection Engineering, volumen 38 (número 3), pp. 45-55.
- Peiró Muñoz A.M. (2003). *Nuevas aportaciones al desarrollo de metodologías en química verde: eliminación fotocatalítica de contaminantes fenólicos, preparación de fotocatalizadores mediante procesos químicos suaves*. Tesis (doctorado en química), España, Universitat Autònoma de Barcelona, p. 228.
- Raza W., Haque M., Muneer M., Fleisch M., Hakki A., Bahnemann D. (2015). *Photocatalytic degradation of different chromophoric dyes in aqueous phase using La and Mo doped TiO₂ hybrid carbon spheres*. Journal of Alloys and Compounds, volumen 632, pp. 837-844.
- Rodríguez H. (2008). *Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas*. Revista de Ingeniería, (número 28) 83-89.
- Sahoo C., Gupta A., Pillai I. (2012). *Heterogeneous photocatalysis of real textile wastewater: Evaluation of reaction kinetics and characterization*. Journal of Environmental Science and Health Part a-Toxic/hazardous Substances & Environmental Engineering, volumen 47 (número 13), pp. 2109-2119.
- Samara F., Jermani E., Kanan S.M. (2015). *Photocatalytic UV-degradation of 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD) in the presence of silver doped zeolite*. Arabian Journal of Chemistry, doi:10.1016/j.arabjc.2014.12.009.
- Son H., Ko G., Zoh K. (2009). *Kinetics and mechanism of photolysis and TiO₂ photocatalysis of triclosan*. Journal of Hazardous Materials, volumen 166 (número 2-3), pp. 954-960.
- Tak B.-y. Tak B.-s. Kim Y.-j. Park Y.-j. Yoon Y.-h. Min G.-h. (2015). *Optimization of color and COD removal from livestock wastewater by electrocoagulation process: Application of Box-Behnken design (BBD)*. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, doi:10.1016/j.jiec.2015.03.008.
- Valencia S.H., Marín J.M., Restrepo G.M. (2011). *Effect of pH on the photocatalytic degradation of natural organic matter*. Información Tecnológica, volumen 22 (número 5), pp. 57-66.
- Vasquez E., Penuela G., Agudelo S. (2010). *Chlorothalonil photodegradation study using Fenton and photocatalysis techniques with titanium dioxide by means of solar radiation*. Revista Facultad De Ingeniería-Universidad De Antioquia, (número 51), pp. 105-113.
- Vineetha M., Matheswaran M., Sheeba K. (2013). *Photocatalytic colour and COD removal in the distillery effluent by solar radiation*. Solar Energy, volumen 91, pp. 368-373.
- Yao B., Wang L., Wang C., Wang Y., Zhao G. (2007). *Preparation and performances of RuO₂/TiO₂ films photocatalyst supported on float pearls*. Chinese Journal of Chemical Physics, volumen 20 (número 6), pp. 789-795.
- Zhao C., Pelaez M., Dionysiou D., Pillai S., Byrne J., O'Shea K. (2014). *UV and visible light activated TiO₂ photocatalysis of 6-hydroxymethyl uracil, a model compound for the potent cyanotoxin cylindrospermopsin*. Catalysis Today, volumen 224, pp. 70-76.

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 DEL RELACIONAMIENTO DE LOS GRUPOS HUMANOS CON EL BOSQUE DESDE LOS PRINCIPIOS DE OSTROM

THE RELATIONSHIP BETWEEN SOCIAL GROUPS AND THE FOREST: AN ANALYSIS USING OSTROM'S PRINCIPLES

¹ **María Fernanda Franco Ortiz**

² **Jaime Alberto Moreno Gutiérrez**

¹ *Magister en Manejo, Uso y Conservación del Bosque, Universidad Distrital FJdeC, Bogotá- Colombia*

² *Doctorante Pensamiento Complejo - Multiversidad Mundo Real; Profesor Asociado
Universidad Distrital FJdC, Bogotá- Colombia*

¹ mariaffrancoo@gmail.com

² jmoreno@udistrital.edu.co

RESUMEN

Desde una perspectiva gubernamental, donde los Estados son los propietarios de los bosques, los marcos regulatorios para el manejo forestal son típicamente asimétricos en relación con la dinámica de la comunidad local. Esta investigación pretende identificar, a partir de estudios de caso, la forma de relacionamiento del ser humano con el bosque para establecer los aspectos favorables y las barreras que enfrenta la materialización de la autogestión como la base de una gobernanza efectiva en el manejo de los bosques naturales en los trópicos. Se abordó la revisión de 60 estudios de caso, de los cuales tan solo 26 presentan una sistematización conceptual con rasgos específicos de los principios planteados por Ostrom para los RUC. Con este análisis,

se encontró que el principio más recurrente en los estudios es la "coherencia entre reglas de apropiación y provisión" y el menos considerado es el "monitoreo de recursos", lo cual deja en evidencia que las comunidades siempre establecen reglas, pero no tienen clara la importancia del monitoreo.

Palabras clave: Autogestión de los bosques; Complejidad Forestal; Gestión compleja; Gestión de bosques; Gobernanza forestal; Recursos de Uso Común (RUC)

ABSTRACT

From a governmental perspective, where the state is the owner of forests, regulatory frameworks for forest management are typically

asymmetric in relation to the dynamics of the local community. This research identifies, by using study cases, the relationship form of the human being with the forest, in order to establish the favorable aspects and the barriers that face the materialization of the self-management as the base of effective governance in the management of the natural tropical forests. The review of 60 case studies was addressed, of which only 26 present a conceptual systematization with specific features of the principles proposed by Ostrom for "resources of common use" (RCU). The analysis concludes

that the most recurrent principle in the studies is the "coherence between rules of appropriation and provision", while the least considered is the "monitoring of resources", which shows that communities always establish rules; however, the importance of monitoring is not clear for them.

Keywords: Forest Management; Common-pool Resource (CPR); Self-management of Forests; Forest Governance; Forestry Complexity; Complex Management

INTRODUCCIÓN

Los recursos de uso común (RUC) se caracterizan por ser recursos sobre los cuales es muy difícil o costoso excluir a alguien de su uso o beneficio; sin embargo, al mismo tiempo presentan rivalidad, dado que la porción del recurso que usa una persona ya no estará disponible posteriormente para ser usada por otra, al menos en el corto y mediano plazo, ocasionando que el recurso pueda llegar a sobreexplotarse (Bollier, 2014; Cardenas, 2009; Ostrom, 2011). En el caso específico de los bosques naturales, estos son considerados como RUC puesto que ya sea de facto o iure se accede y usan, inmersos al mismo tiempo en una variedad de derechos no necesariamente equilibrados en cuanto a deberes o precauciones sobre la forma y medio de dicho uso (Cardenas, 2009; E. Ostrom, 2009). Diferentes autores como Meinzen-Dick & Di Gregorio (2004), Ostrom (2009^a), Schlager & Ostrom (1992), han trabajado sobre la clasificación y conceptualización de unos "derechos de propiedad" facticos, que corresponden principalmente a cinco aspectos para su configuración: acceso, retiro (extracción), gestión, exclusión y alienación.

Garrett Hardin (1915- 2003) fue uno de los primeros autores que consideró la necesidad de contar con derechos de propiedad privada para garantizar la sostenibilidad de un RUC, ya sea bajo una regulación centralizada a través de empresas privadas o bajo el control del gobierno (Hardin 1968; Delgado Riaño, 2017; Gómez & Guerrero, 2014). Su exposición en "la tragedia de los comunes" consistía en argumentar que los grupos humanos no eran capaces de trabajar juntos de manera efectiva, puesto que el principio de maximización individual del beneficio incentivaba a la sobreexplotación a costa de la restricción de usufructo de otros, frente o futuro, del mismo recurso (Olson 1965; Hardin 1968).

El postulado de Hardin resultó alentador para el desarrollo de investigaciones. Una de las más representativas fue la llevada a cabo por Elinor Ostrom, pues desarrolló un marco teórico a partir de un exhaustivo análisis de "realidades empíricas" en el que, por más de 30 años, documentó y analizó con casos alrededor del mundo con respecto a la gestión de RUC. Su investigación la llevó a ganar el premio nobel

de economía en el 2009, comprendiendo y demostrando cómo algunas comunidades son capaces de gestionar sus recursos de manera exitosa, sin contar necesariamente con un derecho de propiedad explícito, mientras que otras no (aun en presencia de dicho derecho), sin importar si los recursos son gestionados bajo esquemas de tenencia privada o por el Estado, sin ser ello la clave que conduzca a una gestión sostenible (Ostrom, 2011).

Es importante tener en cuenta que, más allá de los derechos de propiedad que se tienen sobre las áreas donde están los recursos, localmente se dan dinámicas sobre la explotación o aprovechamiento del bosque, donde los actores cuentan con diferentes niveles de elección colectiva que influyen directamente en los regímenes de uso y gestión de los mismos (Schlager & Ostrom, 1992; Cardenas, 2009; Ostrom, 2011). Frente a estas realidades, resulta relevante conocer, identificar y construir, a partir de este reconocimiento, las directrices de gestión efectiva de los bosques, principalmente cuando se reconoce que los marcos normativos gubernativos difieren en gran medida de las realidades locales, que los hacen ineficientes; por lo tanto, en esta investigación se identifican los elementos facticos de la relación de los individuos con el bosque.

PRINCIPIOS DE DISEÑO CARACTERÍSTICOS DE INSTITUCIONES DE RUC

La investigación en campo sobre los RUC, ha permitido un gran avance en la conceptualización y teorización de estos (Poteete, Janssen, & Ostrom, 2012). El trabajo de Elinor Ostrom ha sido la base para el desarrollo de este tema; a partir de su libro "El Gobierno de los Bienes Comunes" (Ostrom, 2011), en el cual recorrió y estudió una variedad de sistemas de recursos de uso común. Ella definió ocho principios clave presentes en estos sistemas, los cuales expone como algunas condiciones

que contribuyen al éxito de la gestión efectiva de los RUC.

A continuación, se presentan los Principios definidos por Ostrom para el desarrollo de investigaciones relacionadas con los RUC.

Límites claramente definidos

Los límites de un sistema de recursos deben ser claros (cuánto se puede usar) y se deben conocer los usuarios que están autorizados para usar el recurso (quienes lo usan) (Elinor Ostrom, 2009a). Los niveles de confianza y de cooperación aumentan cuando se tiene menos incertidumbre y mayor conocimiento del recurso por usar, esta información permite construir reglas sobre los límites del recurso, la autorización de acceso, la cosecha, la administración y la exclusión (Elinor Ostrom, 2009; Ostrom, 2011). Algunos investigadores sugieren que, para lograr una mayor efectividad en la aplicación de este principio, este se debe dividir en dos partes: una centrada en los límites de los actores autorizados para utilizar un recurso de propiedad común y el otro relacionado con los límites del propio recurso (Agrawal 2002; Cox, Arnold, & Villamayor, 2010). Los límites para los usuarios deben dejar claro quiénes son los usuarios legítimos. Los límites de los recursos definen el sistema de recursos y ayuda a precisar su entorno biofísico.

Coherencia entre las reglas de apropiación y provisión con las condiciones locales

Las reglas de uso se relacionan con las unidades del recurso por adquirir y las variables afines a esa actividad, esas a su vez deben estar creadas por los usuarios de acuerdo con la realidad, contexto y entorno de los mismos. Estas reglas son específicas para cada recurso y sus usuarios (Ostrom, 2009; Ostrom, 2011). Generalmente, las reglas que se conciben desde un nivel local, tienen menor incertidumbre sobre los recursos y las dinámicas en torno a

este. Por lo anterior, puede ser más sencillo entender las reglas, y su aplicación por parte de los usuarios. También será mayor la probabilidad de las autoridades locales de propiciar un gobierno eficaz de los recursos (Agrawal, 2007; C. C. Gibson, Williams, & Ostrom, 2005). En este principio, autores como (Cox et al., 2010) sugieren una división del mismo y así lograr una mayor profundidad en la gestión. Las reglas de apropiación y provisión hacen referencia a la distribución de beneficios obtenidos del aprovechamiento del recurso conforme a la distribución de los costos de provisión, mientras que la congruencia con las condiciones locales busca que las reglas sean adecuadas con las condiciones socio-ambientales locales.

Arreglos de elección colectiva

Los diferentes grupos de personas que utilizan un recurso son aptos para crear sus propios arreglos, dado que conocen e interactúan permanentemente en el mismo entorno. Además, tienen la posibilidad de ir adaptando y reformulando las normas con el tiempo, pues la dinámica alrededor del recurso no siempre será la misma (Elinor Ostrom, 2009; Ostrom, 2011). Cuando los usuarios son los que toman las decisiones sobre las normas, es más probable que estas se cumplan y se hagan cumplir, debido a que su planteamiento es desde una visión cercana al recurso y sus dinámicas, en comparación con situaciones donde las normas son impuestas por personas ajenas a la comunidad. El reto en ese momento para los grupos de usuarios, es que es más fácil establecer normas que cumplirlas, dado que se pueden presentar diversas tentaciones que afecten los intereses (Elinor Ostrom & Nagendra, 2006; Ostrom, 2011).

Monitoreo

El monitoreo sobre los RUC hace referencia a los métodos aplicados para contener la trasgresión de las normas establecidas por

los usuarios. En muchos de los regímenes de RUC, las personas que monitorean la mayoría de veces son de la misma comunidad (Elinor Ostrom, 2009^a; Ostrom, 2011), lo que resulta sostenible económicamente ya que los apropiadores reducen los costos de esta actividad (Olivos, 2014). Cox et al (2010), consideran que, con el objetivo de tener una mayor efectividad con este principio, se debe dividir en dos subtemas: i. El monitoreo de los usuarios en donde los monitores vigilan los niveles de apropiación y provisión del recurso por parte de las personas que acceden al uso del recurso; ii. El monitoreo sobre el recurso, donde se controlan las condiciones del mismo.

Sanciones graduadas

Las sanciones graduadas hacen referencia a la necesidad de crear un sistema de sanciones que estén de acuerdo con la gravedad y el contexto de la infracción, así como su repetición. De esta forma, las personas que incumplen una norma serán sancionadas según la gravedad de la falta cometida, pero así mismo queda en conocimiento de todos la sanción que se daría si este usuario cometiera de nuevo la misma infracción (una sanción más fuerte). Esto aumenta la confianza de los usuarios con respecto a los incumplimientos cometidos por otras personas (Elinor Ostrom, 2009^a; Ostrom, 2011). Este principio se relaciona íntimamente con el de monitoreo pues existe una relación en ambas direcciones. Como se mencionaba, se busca que los mismos usuarios sean los que monitorean ya que, además de los beneficios de sostenibilidad económica, el conocimiento que los usuarios tienen del recurso, las dinámicas, las reglas y la información de cumplimiento de los demás participantes, permite un mejor seguimiento (Ostrom, 2011). Será más difícil que un infractor reincida en su falta si esta ya está en conocimiento de toda la comunidad y las personas que monitorean; además, la reputación frente a la comunidad cobra un

papel importante en las motivaciones comportamentales de los usuarios.

Mecanismos para la resolución de conflictos

Los conflictos frente a la gestión de RUC están relacionados en su mayoría por la interpretación de las normas, la búsqueda es el funcionamiento armónico del sistema de recursos para que este permanezca en tiempo y espacio. Lo anterior incide de igual manera en la necesidad de tener un buen diseño de las normas que rigen el sistema, pues de esta depende su interpretación y cumplimiento en la práctica, de no ser así, surgen los conflictos por la interpretación (Olivos, 2014). El diseño de un mecanismo simple, local y de fácil acceso para todas las personas, permitirá solucionar los conflictos rápidamente. Este mecanismo facilita las acciones de la comunidad y le genera una mayor confianza interna, ya que se utiliza para mediar conflictos entre usuarios o con funcionarios y es de pleno conocimiento de todos los usuarios (Elinor Ostrom, 2009a; Ostrom, 2011).

Reconocimiento mínimo de derechos de organización

“Los derechos de los apropiadores para elaborar sus propias instituciones no son cuestionados por autoridades gubernamentales externas” (Ostrom, 2011).

Los regímenes de organización y gestión sobre el recurso creados por los propios usuarios generan una mayor eficacia dado el conocimiento de las dinámicas. La intervención e imposición por actores externos, puede generar conflictos sobre el recurso y en las dinámicas sociales, dado el desconocimiento y las formas de intervención externas (Elinor Ostrom, 2009a; Elinor Ostrom & Nagendra, 2006). Los usuarios de los recursos deben contar con la autonomía para crear sus normas; sin embargo, así mismo se

espera el respaldo de autoridades externas que reconozcan y les permitan hacer valer sus derechos. Las autoridades externas deben conocer las reglas de las organizaciones de usuarios ya que esto fortalece la organización y a las reglas propiamente dichas (Olivos, 2014).

Entidades anidadas

Las entidades anidadas hacen referencia a una serie de organizaciones que están incluidas unas en otras. Es decir, la toma de decisiones y el control de los sistemas de recursos resultan complejos si se dan desde un mismo nivel, razón por la cual se crean organizaciones encargadas de la gestión en diferentes niveles. Los principios expuestos anteriormente deben encontrarse en instituciones cada vez mayores que vayan acogiendo las de niveles inferiores y así nutrir los sistemas y generar unos mejores ejercicios de gobernanza (C. M. Tucker, 2010) acordes con las realidades desde lo más local a mayores unidades de gestión (Elinor Ostrom, 2009a; Ostrom, 2011).

METODOLOGÍA

La presente investigación se basa en la Teoría Fundamentada (Glaser y Strauss, 1967), donde, a partir de un muestreo teórico, se fundamenta conceptualmente la base de la gestión de los RUC, para posteriormente, y con base en el rastreo de casos publicados, reconocidos y aceptados como consistentes, hacer la constatación o verificación de evidencia explícita o implícita de algunos o todos los factores de éxito para la gestión efectiva de los RUC, esgrimidos por Ostrom.

Reconociendo los fundamentos y desarrollos conceptuales alrededor de la gestión de los bosques, se buscaba identificar unos parámetros que aborden los diferentes elementos que componen y describen las relaciones (en sus múltiples niveles) que tiene las personas y las instituciones con la gestión de los bosques.

Para esta selección, fue importante tener en cuenta que existen múltiples formas de relacionamiento con los bosques por parte de las personas, donde justamente se plantean los conflictos en las decisiones normativas que regulan el uso de los recursos por parte de los gobiernos; por lo anterior, tras la revisión bibliográfica se consideró que los parámetros planteados por Ostrom (1990) resultan suficientes para enmarcar la información que se busca en esta investigación. Se seleccionaron estos parámetros considerando las modificaciones propuestas por Cox et al (2010) debido a que son parámetros construidos desde una base real del análisis de casos de gestión de los recursos, en donde su autora recogió experiencias alrededor del mundo por más de 30 años, llegando a abstraer estos parámetros desde las particularidades propias de los sistemas de gestión de los recursos.

Basados en los principios, se desarrolló una búsqueda de casos en revistas indexadas, así como en los repositorios de universidades. La búsqueda de estos casos se basó en descriptores claves como: RUC, gestión de los bosques, manejo de bosques y principios de gestión de bosques. La búsqueda de casos permitió identificar más de 60 intentos de sistematización, los cuales posteriormente se revisaron, buscando que hicieran una descripción de los modelos locales de gestión del bosque, que saltaran de la simple relatoría a un análisis conceptual que permitiera vislumbrar, explícita o implícitamente, al menos 4 de los 10 principios establecidos para la investigación; así mismo, la muestra se tomó con base en que fueran estudios de caso reportados en los trópicos, debido a la afinidad de contextos tanto naturales como sociales que se pueden presentar con el contexto colombiano. Los casos que cumplían con estos criterios pasaban a una revisión posterior, mientras que los demás eran descartados.

A partir de la información brindada por cada caso, se desarrolló una matriz en donde cada columna hacía referencia a cada uno de los principios y a la información general del estado de caso, en las filas se iban registrando cada uno de los casos que cumplían con los parámetros. Por medio de este trabajo se obtuvo una matriz de llenos y vacíos en donde se identifican los principios desarrollados en cada estudio de caso.

Con la selección de fragmentos de textos en los cuales se desarrollan los principios en cada uno de los casos, se procedió a determinar "códigos" a partir de la información allí contenida. Los códigos son unas etiquetas que permiten sintetizar la información allí contenida y da insumos para conocer los diferentes panoramas que se pueden dar sobre un principio. Estos códigos se trabajaron con el objetivo de establecer categorías en cada uno de los principios que en los que se integraron los diferentes modos de relacionamiento entre el ser humano y la naturaleza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la revisión de los estudios se pudo establecer universo muestral de 60 casos de sistematización de experiencias relacionados con la sociedad o grupos de colectivos y el recurso forestal, desarrollando de manera explícita o implícita mecanismos de gestión, derivados de su relacionamiento vivencial con el bosque. Se identificaron 26 estudios de caso distribuidos por los trópicos, en los que las sistematizaciones presentaban rasgos específicos de los planteamientos que Ostrom (2011) desarrolla sobre la gestión de los RUC, que incluyen con claridad al menos cuatro de ellos definidos previamente como aparataje conceptual de esta investigación.

Dentro de los casos seleccionados, se permitió contar con varios actores que describieran sus

formas de gestión y relacionamiento con los bosques. La forma como estos grupos humanos conciben el bosque difiere, puesto que los valores que le dan se relacionan directamente con la historia de uso y la forma de relacionamiento que han tenido. Por tal razón, para tener un marco más amplio sobre el relacionamiento de grupos de usuarios con el bosque, se consideró que la inclusión de casos que cubriera diferentes actores.

Identificación de parámetros

Con la sistematización de todos los casos se realizó un análisis de la respuesta de la muestra frente a los principios establecidos (Figura 1). El principio que se encuentra menos establecido es el monitoreo de los recursos, ya que desde los casos revisados, el hecho de monitorear los recursos incurre en costos muy altos que muchas veces las comunidades no pueden asumir. De la misma forma, se observa que no hay claridad sobre la aplicación de este principio, pues no se refiere únicamente a

tener vigilancia del bosque sino monitorear la respuesta del bosque (tanto en su estructura, composición y función) a las actividades que allí se realizan.

El principio con el valor más alto es “coherencia entre reglas apropiación y provisión”, debido a que, ya sea por acuerdos implícitos o explícitos y sin importar las particularidades culturales y de manejo de los recursos, la gran mayoría de grupos de usuarios establecen normas para la gestión del recurso boscoso. El hecho que las comunidades tengan un relacionamiento directo, y muchas veces histórico con el recurso, disminuye en ellas la incertidumbre sobre el recurso en sí, así como su dinámica, lo que les permite tomar decisiones fundamentadas sobre las reglas para la gestión. Cabe resaltar que en algunos casos esas reglas vienen impuestas desde niveles superiores de gestión, lo que llega a condicionar, en ciertos casos el cumplimiento de las mismas por parte de los usuarios.

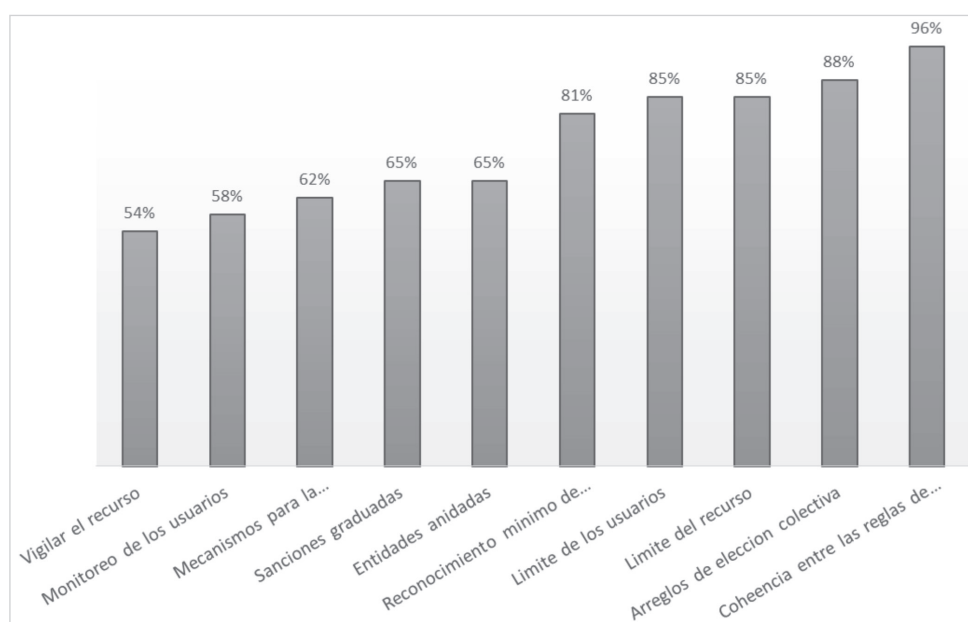


Figura 1. Porcentaje de estudios de casos que reportan cada uno de los principios de Ostrom.

Fuente: propia.

De acuerdo con la identificación y manifestación de los elementos sistematizados sobre los principios propuestos por Ostrom (2011), el relacionamiento y gestión del bosque presenta características que permiten realizar una asociación, según el ámbito de gestión en el que encuentre dicho principio. Los grupos propuestos desde el análisis de los mecanismos encontrados en los casos de estudio nos permiten discernir los siguientes principios: i) los relacionados con las reglas establecidas para la gestión del recurso, así como su aplicación; ii) los mecanismos de seguimiento y monitoreo alrededor del recurso y sus usuarios; iii) los principios que propenden hacia una gobernanza del bosque, entendiendo la gobernanza como mecanismos concertados entre actores.

Reglas y su aplicación

El principio relacionado con la definición de los usuarios que pueden acceder y usar el recurso es considerado por Ostrom (2011) como uno de los primeros pasos de las organizaciones para la acción colectiva. El 85% de los casos revisados, cuentan con los límites de los usuarios definidos para el acceso al recurso boscoso, lo que muestra una marcada participación de los actores sobre este principio, sin desconocer las diferentes formas que motivan a los actores a regular este principio. Por lo anterior, se definieron tres criterios (acuerdos implícitos, explícitos y por administración) que recogen las formas de definir los límites de los usuarios. Los acuerdos implícitos hacen referencia a acuerdos que hacen las comunidades locales respecto a las personas que pueden o no acceder al uso del recurso boscoso, sin estar circunscritos o especificados textualmente; estos acuerdos se dan enmarcados en relaciones de confianza entre usuarios ya que al estar en comunidades usualmente con poblaciones pequeñas, las personas suelen conocerse y contar con cierto prestigio dentro de la comunidad (Gautam & Shivakoti, 2005;

Pacheco, Ibarra, Cronkleton, & Amaral, 2008; C. Tucker, 1995). También se dan acuerdos de manejo tradicionales en comunidades principalmente indígenas (Ayma-Romayab, 2012; Becker & Leon, 2000), en donde las decisiones sobre quienes acceden al recurso y las reglamentaciones sobre el uso del mismo, se transmiten entre generaciones que han estado en el territorio y por lo tanto tienen derechos consuetudinarios sobre el recurso (Monroy-sais, Castillo, García-frapolli, & Ibarra-manríquez, 2016; Monroy, 2013; Tejeda Cruz & Márquez Rosano, 2006).

Los acuerdos explícitos se dan a través de documentos como reglamentos internos, planes de manejo, planes de aprovechamiento o identificaciones como carnets, los cuales especifican las características de las personas que pueden usar el recurso y las consecuentes implicaciones. Estos acuerdos explícitos pueden ser considerados y construidos internamente entre los usuarios o las comunidades locales (Pacheco et al., 2008), pero también pueden ser producto de regulaciones de instituciones que administran el recurso y que son territorializados en los contextos particulares (Beltrán Ruiz, 2013; Salcedo-Hernández, 2011). La administración para la regulación del uso del recurso implica instancias participativas a nivel local y/o instituciones de mayor nivel territorial. En algunos casos las instituciones externas tienen un papel regulatorio, el cual implica una capacidad de decisión sobre el recurso y su uso a nivel local, generando, en algunos casos, conflictos con los usuarios y las organizaciones locales como se citó en el principio de mecanismos para la resolución de conflictos (Beltrán Ruiz, 2013; Salcedo-Hernández, 2011).

Cuando se habla de límites del recurso se establecen dos categorías: la categoría biofísica se relaciona con factores biológicos o geográficos

sobre los cuales se toman las decisiones para saber la cantidad máxima que se puede extraer del recurso; complementariamente (estas categorías no son excluyentes) la categoría administrativa recoge los casos en donde las decisiones de regular el uso del recurso de acuerdo con sus condiciones y límites se toma desde instituciones que a menudo usan herramientas de manejo. En el 73 % de los casos se encontró una delimitación geográfica, siendo la principal forma de limitar el recurso a usar, hace referencia a las áreas donde la comunidad tiene potestad o en su sentido estricto, las áreas pertenecientes directamente a la comunidad (Duran, Bray, Velazquez, & Larrazabal, 2011; Gautam & Shivakoti, 2005; Salcedo-Hernández, 2011; C. Tucker, 1995). Sin embargo, la mayoría de comunidades llevan a cabo un ejercicio de zonificación de bosques (46%) (Beltrán Ruiz, 2013; Bojórquez-Vargas, Bello-Baltazar, Márquez-Rosano, Cayuelo-Delgado, & Parra-Vázquez, 2009; Elias, Larson, & Mendoza, 2009; Salcedo-Hernández, 2011). La administración (42%) sobre los límites de los recursos se da generalmente a escalas locales donde los consejos, asociaciones, asambleas y demás, son los que participativamente toman las decisiones sobre las cantidades de recurso a aprovechar y formas de aprovecharlo (Ayma-Romayab & Castro, 2013; Candela, Stoian, Somarriba, & Villalobos, 2013; C. Tucker, 1995). De la misma forma, ciertos grupos que tienen relaciones particulares con el territorio definen los límites a través de prácticas ancestrales y sistemas de conocimientos propios (Ghate & Nagendra, 2005). Externamente, instituciones dedicadas a la regulación forestal nacional, emiten normativas y delimitan los bosques de acuerdo a características e intereses estatales. Estas formas de decisión complementan, en ciertos casos, a las formas internas (Beltrán Ruiz, 2013); sin embargo, en otros casos se generan conflictos por oposición de visiones entre actores e instituciones

(Salcedo-Hernández, 2011). Considerando las anteriores formas de administración, cabe resaltar que hay una correspondencia entre estas instituciones con herramientas de manejo (42%) que permiten la concreción de las normativas y decisiones de gestión. Las herramientas reportadas son planes de manejo, reglamentos, planes de manejo forestal, planes silvícolas, licencias.

De acuerdo con lo documentado en los estudios de caso, los mecanismos para la resolución de conflictos, se realizan a través de mecanismos internos, propios de las comunidades o externos a ellas. Los mecanismos internos predominan dentro de los casos revisados (46 %), puesto que el conocimiento entre usuarios, la confianza y las instancias internas de participación permiten que allí mismo se solucionen los conflictos de menor grado que se presenten (Barton & Merino, 2004; Barton, Merino, & Barry, 2007; Beltrán Ruiz, 2013; Bojórquez-Vargas et al., 2009; Candela et al., 2013). Por fuera del orden local, los mecanismos externos son instancias de justicia ordinaria, tribunales de justicia, policía y en algunos casos la iglesia (Ghate & Nagendra, 2005). Algunas ONG's apoyan las comunidades locales generando espacios de discusión para que se lleguen acuerdos sobre la solución de los conflictos (Ayma-Romayab & Castro, 2013). Así mismo se evidenció que en algunos casos donde las reglas son impuestas externamente y si conocimiento, llevan al incumplimiento de las mismas y por lo tanto emergen conflictos alrededor (Gautam & Shivakoti, 2005).

El principio de sanciones graduadas se compone de sanciones internas de las comunidades y otras externas, sin embargo, no se hace referencia a que alguna de estas sea la que se debe aplicar, sino por el contrario, al ser sanciones graduadas debe darse un sistema sancionatorio claro, en articulación entre

instituciones. Un alto número de casos reportan no tener sanciones graduadas (35 %), lo que responde a la falta de comprensión sobre las normas de gestión de los recursos, teniendo una respuesta subjetiva por cada caso presentado (Gautam & Shivakoti, 2005; Ghate & Nagendra, 2005; C. Tucker, 1995). El 46 % de los casos reportaron tener sanciones que se imparten de forma interna por las instituciones locales o por los mismos usuarios. Las sanciones aunque en algunos casos suelen ser graduadas no llegan a un nivel donde intervenga la justicia ordinaria; únicamente participan las instituciones locales con sus sistemas sancionatorios. Estos sistemas buscan que los usuarios que cometan faltas sean conocidos por toda la comunidad, esto con base en el prestigio y con el objetivo de no repetición (Ayma-Romayab & Castro, 2013; Beltrán Ruiz, 2013; Bojórquez-Vargas et al., 2009; Elias et al., 2009; Márquez, 2011; Pérez, 2010). Las sanciones externas (38 %) son generalmente impuestas por instituciones de mayor nivel territorial que velan por el adecuado uso de los recursos. Se reportan para algunos casos la articulación con las instituciones internas para actuar en el momento que estas lo soliciten, teniendo claridad sobre las sanciones y los niveles de estas (Candela et al., 2013; Elias et al., 2009; Regidor, 2010). Sin embargo también se presentan casos en los que estas instituciones solo actúan directamente sobre los usuarios que comenten faltas (Beltrán Ruiz, 2013; Salcedo-Hernández, 2011).

Las reglas de apropiación se relacionan con las unidades del recurso a adquirir y las variables que se establecen en esta interacción. Las reglas internas (65 %), son creadas y/o heredadas por los mismos usuarios del recurso representados a través de distintas instancias de toma de decisiones locales. Estas decisiones de reglamentación parten de un conocimiento arraigado del bosque, en donde muchas veces

no solo se tienen en cuenta el bosque por sí mismo, sino el sistema en el que está inmerso; aunque se prioriza el uso de subsistencia frente a las reglamentaciones impuestas en varios de los casos analizados (Bojórquez-Vargas et al., 2009; Elias et al., 2009; Ghate & Nagendra, 2005; Pacheco, Barry, Cronkleton, & Larson, 2009), también hay reglas para aprovechamientos comerciales en donde se tienen en cuenta variables propias de las especies por comercializar (Ayma-Romayab & Castro, 2013; Beltrán Ruiz, 2013; Salcedo-Hernández, 2011; C. Tucker, 1995). Aunque hay casos donde se manifiesta que la reglamentación para la apropiación del recurso responde a reglas externas de las comunidades, su porcentaje es bajo (4 %), estas son reglas macro que aunque velan por la protección del recurso, los usuarios manifiestan que no son coherentes con los contextos locales y por lo tanto no las consideran legítimas (Beltrán Ruiz, 2013; Gautam & Shivakoti, 2005).

A través de las reglas de provisión se busca cuidar el recurso o los beneficios que se obtienen de este, por lo tanto se prevé como una forma de compensación, frente a lo anterior cuando se habla de recuperación por funcionalidad (46 %) hace referencia a acciones que ayudan a recuperar el recurso y su funcionalidad. Por lo tanto la restauración y reforestación específica a los contextos que se analizaron con los casos son la base para trabajar en la provisión del bosque (Elias et al., 2009; Ghate & Nagendra, 2005; Salcedo-Hernández, 2011). El criterio de provisión natural reglada (38 %) atañe acciones de uso del recurso que impliquen tasas y compensaciones para permitir el uso del mismo (Bojórquez-Vargas et al., 2009; Elias et al., 2009; Gautam & Shivakoti, 2005; Pacheco et al., 2009). Por último, las reglas de provisión natural por funcionalidad (46 %) son acciones que contribuyen a mantener sosteniblemente el recurso, que van

desde el mejoramiento de vías de extracción, tiempos de corta, investigación y la participación permanente de los usuarios del recurso, en el mantenimiento del mismo (Beltrán Ruiz, 2013; Ghate & Nagendra, 2005; Salcedo-Hernández, 2011).

Procesos de seguimiento y monitoreo

El monitoreo del recurso se da a partir del seguimiento a las actividades de aprovechamiento o del seguimiento de las condiciones del bosque. Las actividades de aprovechamiento (27 %) son en su mayoría realizadas por los propios usuarios en las instancias organizativas locales (Candela et al., 2013; Duran et al., 2011; Gautam & Shivakoti, 2005; Ghate & Nagendra, 2005), sin embargo en algunos casos se responde a normativa impuesta desde instituciones externas que llega a monitorear el recurso (Salcedo-Hernández, 2011). Se monitorea principalmente las especies que se van a extraer y se controlan los focos de incendios para así evitar las pérdidas de recursos. El monitoreo de las condiciones del bosque (35 %) se hace por alguna institución externa a la comunidad, aunque esta no resulta ser la generalidad, pues son los mismos usuarios los encargados de monitorear el recurso (Ayma-Romayab & Castro, 2013; Salcedo-Hernández, 2011). Dentro de las comunidades, las instancias organizativas se reúnen para analizar los cambios en el bosque y tomar decisiones sobre los mismos (Bojórquez-Vargas et al., 2009; Bray, 2004; Ghate & Nagendra, 2005).

El monitoreo de las personas que usan el recurso se presenta en instancias locales y externas. El monitoreo local (54 %) se realiza a través de las diferentes instancias organizativas creadas en las comunidades locales, siendo los mismos usuarios los que monitorean el recurso, con base en normas establecidas localmente, así como normas externas que se adaptan por las comunidades para ser

aplicadas y monitoreadas internamente (Ayma-Romayab & Castro, 2013; Becker & Gibson, 1998; Beltrán Ruiz, 2013; Bojórquez-Vargas et al., 2009; Candela et al., 2013; Elias et al., 2009; Gautam & Shivakoti, 2005; Ghate & Nagendra, 2005; Márquez, 2011; Pérez, 2010). El criterio de monitoreo externo (12 %), se da por parte de instituciones que administran los recursos a niveles regionales o de país, son ellos quienes definen quienes pueden acceder y usar el recurso y quiénes no; sin embargo, para buscar más efectividad en esta labor, suelen contratar a personas propias de las comunidades para que sean ellas directamente las que monitoreen el recurso (Salcedo-Hernández, 2011).

Interacción para una gobernanza efectiva

El principio de arreglos de elección colectiva se evidencia en la participación de los usuarios en la toma de decisiones sobre los recursos y se relaciona con la existencia de instituciones locales que velan por este derecho; sin embargo, cuando se observa desde una escala institucional mayor, la participación resulta baja, dejando a un lado el principio básico de la gobernanza, el cual implica una participación y concertación con los usuarios locales en escalas mayores de decisión. Los arreglos definidos por los usuarios (77 %), se dan en los entornos de las comunidades, donde los usuarios de los recursos suelen reunirse a tomar decisiones sobre la forma en la que se debe usar el recurso (Ayma-Romayab & Castro, 2013; Cardona, de Jong, Zuiderma, & Boot, 2014; Gautam & Shivakoti, 2005; Salcedo-Hernández, 2011). Como se indicó en principios anteriores, los grupos de usuarios crean instituciones locales (65 %) que velan por el bienestar de sus comunidades y por el correcto manejo de los recursos; estas instituciones son creadas de acuerdo a las formas y los principios que regulan la relación de los usuarios con sus recursos y la participación de

los usuarios es permanente y de forma rotativa sobre los cargos. Las instituciones propician los diferentes espacios de participación interna (solo participantes de la institución) o extendida (toda la comunidad) para definir las reglas y las modificaciones sobre las mismas (Barrientos, 2011; Beltrán Ruiz, 2013; Bojórquez-Vargas et al., 2009; Candela et al., 2013; Elias et al., 2009; Ghate & Nagendra, 2005; Pacheco et al., 2009; Regidor, 2010). Cuando se habla de gobernanza (19 %) en este principio hace referencia a la capacidad de articulación que tienen las instituciones locales con instituciones de mayor nivel, para así lograr unos arreglos colectivos de normas que vayan a favor tanto de los usuarios locales como de los intereses de las instituciones externas. Los casos de estudio que se registraron en este nivel cuentan con la participación de entidades de gobierno en los espacios de toma de decisiones, en donde se llegan a consensos (Elias et al., 2009; Gautam & Shivakoti, 2005).

El reconocimiento de derechos de organización hace referencia a la importancia que las instancias de decisiones y de manejo de las organizaciones locales, sean reconocidas por instituciones de mayor nivel, teniendo la posibilidad de un mayor reconocimiento en la construcción de acuerdos de gestión y de marcos normativos acordes con las realidades locales. El hecho de desconocer las organizaciones y sus acuerdos genera en muchos casos que las políticas de gestión no sean acordes con la realidades locales, propiciando conflictos entre la normativa y el uso del recurso (Bottazzi & Dao, 2013; Nayak, 2002). Las instituciones internas (42 %) son aquellas que se encuentran en un mismo nivel de toma de decisiones, por lo tanto, para la mayoría de casos reportados, existen organizaciones paralelas en el territorio que también hacen parte de la gestión de los recursos, estas instituciones se reconocen mutuamente pues llegan a complementarse

tanto como figuras de gestión en el territorio (Beltrán Ruiz, 2013; Bojórquez-Vargas et al., 2009; Elias et al., 2009; Pacheco et al., 2009). El reconocimiento desde las instituciones externas (27 %) se da en organizaciones que se encuentran en un mismo nivel y en menor medida en instituciones de un nivel más alto, de hecho para que haya este reconocimiento en algunos casos se le pide a las organizaciones que modifiquen su reglamento (Becker, 2003; Gautam & Shivakoti, 2005; Ghate & Nagendra, 2005; Márquez, 2011; Oberlack & Schmerbeck, 2015; Salcedo-Hernández, 2011).

En el principio de entidades anidadas se da un anidamiento a nivel local (31%) permitiendo que haya una articulación para el trabajo en temas comunes, así mismo en este nivel se presenta articulación con el municipio y las instituciones directamente implicadas en las actividades cotidianas de los grupos de usuarios (Ayma-Romayab & Castro, 2013; Barrientos, 2011; Bojórquez-Vargas et al., 2009; Bray, 2004; Salcedo-Hernández, 2011). Las entidades anidadas a nivel nacional (27 %), se presentan principalmente en la asociación de los usuarios del bosque con entidades gubernamentales que actúan para la regulación del recurso forestal. El papel de las organizaciones externas radica básicamente en la regulación sobre los procesos de aprovechamiento y monitoreo de los productos del bosque (Beltrán Ruiz, 2013; Candela et al., 2013; Elias et al., 2009). En menor medida se acompaña la formulación de normativa a nivel local, lo que genera conflictos en la aplicación y cumplimiento de normas por no contemplar las realidades locales que se encuentran comúnmente en los territorios. Los conflictos en la gobernanza se dan cuando no hay entidades anidadas (42 %), situación que se presenta en muchos casos pues la posibilidad de la inclusión de visiones en la creación de regímenes de gestión se ve limitada. Por un lado, están

los actores externos con marcos regulatorios de difícil aplicación en lo local y por el otro los grupos de usuarios con claras necesidades que solucionar de acuerdo a sus posibilidades y a los patrones de manejo históricamente adquiridos (Pacheco et al., 2009). La anidación de entidades debe contemplar la participación conjunta en las estrategias de manejo que se incorporen en lo local, pero así mismo nutran de elementos para la creación de marcos regulatorios generales.

CONCLUSIONES

Los principios elegidos conceptualmente como eje de una gestión efectiva según Ostrom, se agrupan estratégicamente en tres niveles: i) Reglas y su aplicación, ii) Procesos de seguimiento y monitoreo e iii) Interacción para una gobernanza efectiva. La mayoría de parámetros se concentran en definir reglas, emergiendo el seguimiento como un mecanismo de verificación necesario más no incidente en la gestión efectiva del bosque como RUC. La interacción entre actores locales en contacto con el RUC, resulta ser la más abordada en todos los estudios, lo que ratifica las conclusiones de Ostrom, puesto que la efectividad del manejo sostenible de los bosques pasa preponderantemente por la autogestión.

Las reglas son el principio de interacción que más observa heterogeneidad, razón por la cual es la incluye el volumen más alto de parámetros (5), entre los cuales ninguno resulta ser el más observado en las sistematizaciones, sea como factor de éxito en su presencia, o fracaso por estar ausente; no obstante se observa que las reglas son un aspecto definitivo del principio de gestión efectiva, además de ser las que empoderan las estrategias de seguimiento, que con sus resultados retroalimentan las reglas y, primordialmente, sustentan una gobernanza efectiva aprobando o desaprobando acciones de relacionamiento.

Es evidente que una gestión efectiva del bosque como RUC, transita por condiciones hechas a la medida de cada contexto, pero responden a los ocho principios establecidos por Ostrom, no obstante, cambian de protagonismo según sean las condiciones refugiándose más en uno que en otro.

LITERATURA CITADA

- Agrawal, A. 2002. Common Resources and Institutional Sustainability. In *The Drama of the Commons*, National Research Council, Committee on the Human Dimensions of Global Change, ed. Elinor Ostrom, Thomas Dietz, Nives Dolšák, Paul Stern, Susan Stonich, and Elke Weber, 41-85. Washington, DC: National Academy Press
- Agrawal, A. (2007). Forests, Governance, and Sustainability: Common Property Theory and its Contributions. *International Journal of the Commons*, 1(1), 111-136.
- Ayma-Romayab, A. I. (2012). *Instituciones y autogobernanza del bosque comun de una comunidad Aymara en los andes bolivianos*. Universidad de Chile.
- Ayma-Romayab, A. I., & Castro, V. (2013). *Causas sociales y ecológicas subyacentes para un mejor manejo comunitario del bosque de neblina en una comunidad aymara de los Andes de Bolivia*. Bolivia.
- Barton, D., & Merino, L. (2004). *La experiencia de las comunidades forestales en México. Veinticinco años de silvicultura y construcción de empresas forestales comunitarias*. México DF: Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).
- Barton, D., Merino, L., & Barry, D. (Eds.). (2007). *Los bosques comunitarios de México, Manejo sustentable de paisajes forestales* (Primera ed). México DF: Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat).
- Becker, D. (2003). Grassroots to grassroots: Why forest preservation was rapid at Loma Alta, Ecuador. *World Development*, 31(1), 163-176.
- Becker, D., & Gibson, C. (1998). The lack of Institutional supply: why a strong local community in western Ecuador fails to protect its forest. In C. Gibson, M. McKean, & E. Ostrom (Eds.), *Forest resources and institutions. Forests, Trees and People Programme Working Paper 3* (p. 23). Rome, Italy: FAO.

- Becker, D., & Leon, R. (2000). Indigenous Forest Management in the Bolivian Amazon: Lessons from the Yuracare People. In C. C. Gibson, M. McKean, & E. Ostrom (Eds.), *People and Forest: Communities, institutions and governance* (pp. 163–191). Indiana: MIT Press.
- Beltrán Ruiz, A. (2013). *Recursos del bosque comunitario ¿recursos de todos?: Análisis del uso y manejo de los recursos de uso común desde la perspectiva de género en un consejo comunitario del Chocó Biogeográfico, Consejo Comunitario Mayor del Alto San Juan (ASOCASAN)*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Bojórquez-Vargas, A. R., Bello-Baltazar, E., Márquez-Rosano, C., Cayuelo-Delgado, L., & Parra-Vázquez, M. (2009). Forestería comunitaria y desarrollo de instituciones locales: el caso de la Comunidad Agraria Teopisca. *Economía Sociedad Y Territorio*, 9(30), 349–395.
- Bollier, D. (2014). *Pensar desde los comunes- Una breve introducción*. Canada: New Society Publishers, Gabriola Island.
- Bottazzi, P., & Dao, H. (2013). On the road through the Bolivian Amazon: A multi-level land governance analysis of deforestation. *Land Use Policy*, 30(1), 137–146.
- Candela, S., Stoian, D., Somarriba, E., & Villalobos, M. (2013). Formas y efectos de la gobernanza forestal en los territorios indígenas bribri y cabécar de Alta Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería En Las Américas*, 49, 85–92.
- Cardenas, J. C. (2009). *Dilemas de lo colectivo: instituciones, pobreza y cooperación en el manejo local de los recursos de uso común*. Bogotá D.C., Colombia.: Universidad de los Andes, Facultad de Economía, CEDE, Ediciones Uniandes.
- Cardona, W. C., de Jong, W., Zuidema, P. A., & Boot, R. (2014). Diverse local regulatory responses to a new forestry regime in forest communities in the Bolivian Amazon. *Land Use Policy*, 39, 224–232.
- Cox, M., Arnold, G., & Villamayor, S. (2010). A Review of Design Principles for Community-based Natural Resource Management. *Ecology and Society*, 15(4), 19.
- Delgado Riaño, A. (2017). *La conciencia de lo común frente a la falsa dicotomía estado-mercado Análisis de la perspectiva de Elinor Ostrom (1933-2012)*. Universidad Complutense de Madrid de Historia e Instituciones Económicas.
- Duran, E., Bray, D. B., Velazquez, A., & Larrazabal, A. (2011). Multi-Scale Forest Governance, Deforestation, and Violence in Two Regions of Guerrero, Mexico. *World Development*, 39(4), 611–619.
- Elias, S., Larson, A., & Mendoza, J. (2009). *Tenencia De La Tierra, Bosques Y Medios De Vida En El Altiplano Occidental De Guatemala*. Editorial de Ciencias Sociales. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Gautam, A. P., & Shivakoti, G. P. (2005). Conditions for Successful Local Collective Action in Forestry: Some Evidence From the Hills of Nepal. *Society & Natural Resources*, 18(April), 153–171.
- Ghate, R., & Nagendra, H. (2005). Role of Monitoring in Institutional Performance: Forest Management in Maharashtra, India. *Conservation and Society*, 3(2), 509.
- Gibson, C. C., Williams, J. T., & Ostrom, E. (2005). Local enforcement and better forests. *World Development*, 33(2), 273–284.
- Glaser, B. & Strauss, A. (1967). *The discovery of grounded theory*. Chicago: Aldine Press.
- Gómez, F., & Guerrero, H. (2014). El análisis institucional en el campo de la gestión de los recursos naturales. *Economía Y Sociedad*, 30, 67–86.
- Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons. *Science*, 162, 1243–1248. Heckathorn
- Márquez, L. (2011). *The Effect Of Institutions On Guatemalan Forests: Conceptual, methodological and practical implications*. Indiana University.
- Meinzen-Dick, R. S., & Di Gregorio, M. (2004). *Acción colectiva y derechos de propiedad para el desarrollo sostenible. CAPRI, PROGRAMA PARA TODO EL SISTEMA DEL CGIAR SOBRE ACCIÓN COLECTIVA Y DERECHOS DE PROPIEDAD*.
- Monroy-sais, S., Castillo, A., García-frapolli, E., & Ibarra-manríquez, G. (2016). Ecological variability and rule-making processes for forest management institutions : a social-ecological case study in the Jalisco coast , Mexico. *International Journal of the Commons*, 10(2), 1144–1171.
- Monroy, S. (2013). *Historia, uso y manejo de los bosques en un ejido de la región Chamela-Cuixmala, Jalisco*. Universidad Nacional Autónoma De México.
- Nayak, P. K. (2002). Community-Based Forest Management In India: The Issue Of Tenurial Significance. In *Paper for the 9th Biennial Conference of the IASCP* (pp. 1–35). Zimbabwe: Foundation for Ecological Security PO.

- Oberlack, C., & Schmerbeck, J. (2015). Institutions for sustainable forest governance : Robustness , equity , and cross-level interactions in Mawlyngbna , Meghalaya , India. *International Journal of the Commons*, 9(2), 670–697.
- Olivos, R. A. (2014). *Bienes comunes y democracia, Hermenéutica crítica de las instituciones del pro-común*. Universidad de Valencia.
- Olson, M. (1965). The logic of collective action: Public goods and the theory of groups. Cambridge, MA: Harvard University Press
- Ostrom, Elinor. (1990). *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. New York: Cambridge University Press.
- Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science (New York, N.Y.)*, 325(5939), 419–422.
- Ostrom, E. (2009a). Design principles of robust property-rights institutions: what have we learned? *Property Rights and Land Policies*, 8(19), 1–28.
- Ostrom, E. (2009b). Las reglas que no se hacen cumplir son mera palabrería. *Revista de Economía Institucional*, 11(21), 15–24.
- Ostrom, E. (2009c). Más allá de los mercados y los Estados: gobernanza policéntrica de sistemas económicos complejos (pp. 15–70).
- Ostrom, E. (2011). El gobierno de los bienes comunes. La evolución de las instituciones de acción colectiva. FCE. UNAM. Mexico. 402p.
- Ostrom, E., & Nagendra, H. (2006). Insights on linking forests, trees, and people from the air, on the ground, and in the laboratory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(51), 19224–31.
- Pacheco, P., Barry, D., Cronkleton, P., & Larson, A. M. (2009). *El papel de las instituciones informales en el uso de los recursos forestales en América Latina*. Indonesia: CIFOR.
- Pacheco, P., Ibarra, E., Cronkleton, P., & Amaral, P. (2008). Políticas públicas que afectan el manejo forestal comunitario. In *Manejo Forestal Comunitario en América Latina: Experiencias, lecciones aprendidas y retos para el futuro* (pp. 201–230). Belém, Brasil: CIFOR – CATIE.
- Pérez, M. R. (2010). *Las instituciones comunitarias en el manejo de los recursos forestales en la comunidad de San Andrés Yatuni, Oaxaca (México)*. Universidad Politécnica De Madrid.
- Poteete, A., Janssen, M., & Ostrom, E. (2012). *Trabajar Juntos: Acción colectiva, bienes comunes y múltiples métodos en la práctica*. Mexico: UNAM, CEIICH, CRIM, FCPS, FE, IIEc, IIS, PUMA; IASC, CIDE, Colsan, CONABIO, CCMSS, FCE, UAM.
- Salcedo-Hernández, D. (2011). *Análisis de la acción colectiva en el uso y manejo del mangle en la zona de uso sostenible del sector estuarino de la bahía de Cispata en el departamento de Córdoba*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Schlager, E., & Ostrom, E. (1992). Property-Rights Regimes and Natural Resources : A Conceptual Analysis. *Land Economics*, 68(3), 249–262.
- Tejeda Cruz, C., & Márquez Rosano, C. (2006). Apropiación territorial y aprovechamiento de recursos forestales en la comunidad Frontera Corozal, Selva Lacandona, Chiapas, México. *Revista Geografía Agrícola*, 37(August 2004), 79–95.
- Tucker, C. (1995). *Evaluating a Common Property Institution: Design Principles and Forest Management in a Honduran Community*. CIPEC. Indiana.
- Tucker, C. M. (2010). Learning on Governance in Forest Ecosystems : Lessons from Recent Research. *International Journal of the Commons*, 4(2), 687–706.

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.

MODELO PARA LA EVALUACIÓN DINÁMICA DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS ORDINARIOS DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ Y SU INFLUENCIA EN EL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANA

MODEL FOR THE DYNAMIC MANAGEMENT ASSESSMENT OF ORDINARY WASTE IN BOGOTA AND ITS INFLUENCE ON THE URBAN ENVIRONMENTAL QUALITY INDEX

¹ **Jennifer Rodríguez-Andrade**

² **Danny Ibarra-Vega**

¹ *Ingeniera ambiental, integrante del Semillero de Investigación en Ingeniería Ambiental y Bioprocesos, Universidad Sergio Arboleda, Bogotá, Colombia.*

² *PhD., Msc., Gestión Ambiental. Investigador de IRCACS-International Research Center for Applied Complexity Sciences, Bogotá, Colombia.*

¹ jennifer.rodrigueza@correo.usa.edu.co

² ingdanny09@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo de este artículo fue elaborar un modelo para la evaluación dinámica de la gestión de residuos ordinarios en Bogotá y evaluar su influencia en los indicadores de residuos aprovechados y dispuestos adecuadamente, pertenecientes al Índice de Calidad Ambiental Urbana. Para la construcción del modelo se utilizó la metodología de Dinámica de Sistemas, la cual permitió evaluar distintos escenarios de gestión. Se propusieron cuatro escenarios de comportamiento: el primero representaba el aumento en la separación en la fuente; el segundo, el aumento de aprovechamiento a un 20 %; el tercero reunía los dos anteriores; y, finalmente, el cuarto, buscaba incentivar la separación en la fuente y llevar el

aprovechamiento a un 50 %. Teniendo en cuenta las simulaciones del modelo, se demuestra que es urgente crear estrategias de educación a la población generadora de residuos, para incentivar la separación en la fuente; además, es importante impulsar el aprovechamiento, para que, de forma conjunta, se impacte la vida útil del relleno sanitario y se mejoren los resultados de los indicadores analizados.

Palabras clave: Gestión integral de residuos, modelo matemático, modelo dinámico.

ABSTRACT

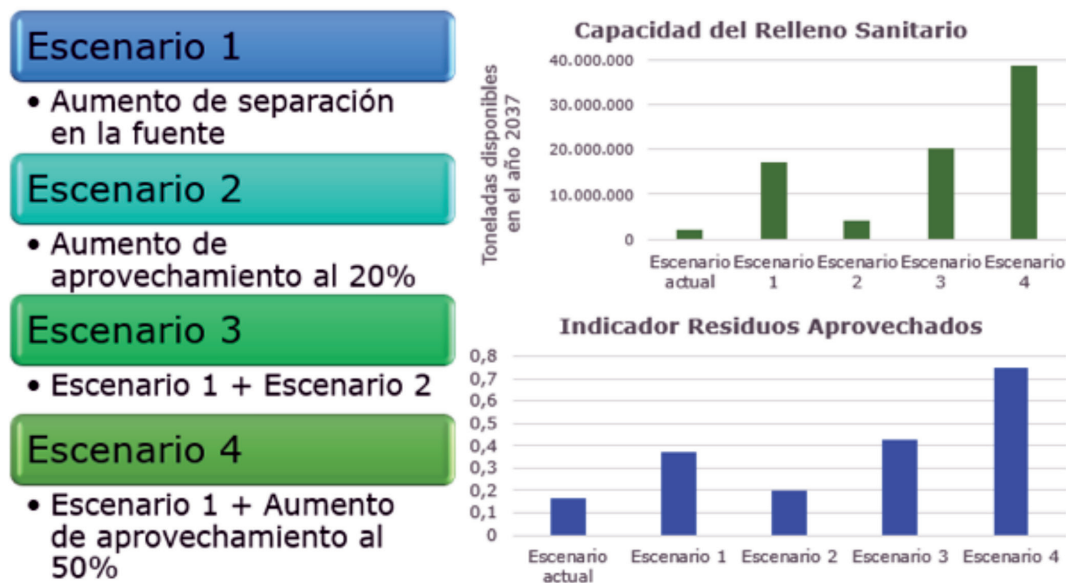
The objective of this article was to develop a model for the dynamic management

assessment of the ordinary waste of Bogotá and to assess its influence in the indicators of used and properly disposed waste, which are part of the Urban Environmental Quality Index. For the construction of the model, the Systems Dynamic methodology was applied, which allowed the assessment of different management scenarios. Four scenarios were proposed: the first one represented the increase in the separation at the source; the second one showed an increase of 20 % in the recycling; the third one collected the previous two; and,

finally, the fourth one looked for encouraging the separation at the source and bring to 50 % the recycling. Considering the model simulations, it is evident that it is urgent to elaborate education strategies for the population to promote the separation at the source; furthermore, it is important to improve the recycling in order to impact the landfill life and to improve the analyzed indicators.

Keywords: Integral waste management, mathematical model, dynamic model.

Resumen gráfico: representación de algunos de los resultados más importantes obtenidos a partir de la investigación y el modelo obtenido. Según su eficiencia, los escenarios se ordenan así: cuarto, tercero, primero y, por último, el segundo.



INTRODUCCIÓN

El aumento desmesurado de la población ha generado un incremento de emisiones atmosféricas, vertimientos con cargas contaminantes, aumento de generación y disposición de residuos sólidos, ampliación del espacio ocupado por las personas, entre otros factores que afectan la estabilidad social y la calidad

ambiental en zonas rurales y urbanas. Colombia cuenta con alrededor de 48 millones de habitantes, de los cuales más del 70 % vive en zonas urbanas (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2015). Lo anterior ha traído como desafío el incremento de abastecimiento de servicios públicos y saneamiento

básico, de lo cual, tal como en la mayoría de países en desarrollo, uno de los aspectos más críticos es el manejo de residuos sólidos (Sukholthaman y Sharp, 2016).

Para hacer referencia a un caso más específico, se evidencia la problemática ambiental en Bogotá, ciudad que ha crecido muy rápido en infraestructura de servicios y vivienda, debido al mismo incremento de la población. Por ejemplo, para el 2005, Bogotá tenía 6.840.116 habitantes (DANE, 2005) y se espera que para el 2020, tenga una población de 8.380.801 personas, lo que representa un incremento del 22,5 % en 15 años – o de 1,5 % anual – (DANE, 2009). Este importante crecimiento demográfico ha traído consigo más generación de residuos sólidos, aspecto que ha tenido una tendencia creciente desde 1998, pues desde ese año hasta el 2013, este aspecto aumentó, en promedio, 2,25 % anualmente. Lo anterior, sumado a aspectos como la informalidad de los recicladores, la poca eficiencia de algunas rutas de recolección, la falta de infraestructura que permita hacer tratamiento adecuado a los residuos, la nula o poca separación en la fuente y demás situaciones, ha sido causa del crítico escenario actual (UAESP, 2014).

El actual Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) de Bogotá tiene como uno de sus principales objetivos establecer medidas que incluyan a los recicladores de oficio, para que se pueda crear un nuevo esquema de gestión más efectivo. En una revisión de dicho documento, se encontró que los materiales que más se disponen en el relleno sanitario son materia orgánica [42,24 %], plástico [23,39 %], papel [9,41 %], textiles [8,13 %] y cartón [6,26 %] (Secretaría del Hábitat y UAESP, 2016). Lo anterior permite ver que la disposición final y todo el proceso detrás de ella están fallando completamente, pues si se hace una comparación con algunos países

desarrollados, estos suelen tener un porcentaje menor de materia orgánica. Por ejemplo, en Alemania se recolecta para llevar a disposición 14 % de este tipo de residuo, en Estados Unidos el valor es de 25 % y en Japón es de 26 % (Sukholthaman y Sharp, 2016).

La gestión de residuos es un servicio público que, como cualquier otro, debe prestarse efectiva y equitativamente para garantizar el bienestar de la población (Sukholthaman y Sharp, 2016); sin embargo, actualmente, en Bogotá, y en Colombia, no se presta adecuadamente, por lo cual el Gobierno se planteó la idea de medir la eficiencia de este y otros procesos. Para lograr lo anterior, se tomó como base la calidad ambiental urbana, la cual resulta de las múltiples relaciones entre diferentes aspectos humanos y ambientales que llevan a afectar positiva o negativamente la calidad de vida de la población; la disposición final de residuos, el aprovechamiento y el reciclaje son factores que están involucrados en la mencionada calidad ambiental urbana (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s.f.).

De acuerdo con lo anterior, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible creó el Índice de Calidad Ambiental Urbana (ICAU), el cual reúne variables relevantes para medir el estado de la calidad ambiental de los municipios colombianos. Para empezar, éste índice está compuesto por diferentes indicadores, clasificados como directos (aquellos que tienen relación estrecha con aspectos ambientales) e indirectos (aquellos relacionados con aspectos sociales). Por un lado, en cuanto a los indicadores directos, se encuentran, entre otros, la superficie de área verde por habitante, la calidad del aire, la calidad del agua superficial, el porcentaje de residuos sólidos aprovechados y el porcentaje de superficie construida con criterios de sostenibilidad. Por otro lado, entre los indirectos están el consumo residencial

de agua por habitante, el consumo residencial de energía por habitante, el porcentaje de residuos sólidos dispuestos adecuadamente, espacio público efectivo por habitante y otros (Díaz, Granados y Valdés, 2016).

Debido a la problemática latente, en este artículo se presenta un modelo desarrollado con la metodología de Dinámica de Sistemas, con el cual se logró representar sistémicamente la gestión de residuos de Bogotá. Teniendo en cuenta que dicha situación se basa en aspectos como la cantidad de habitantes, las pocas estrategias de reutilización y reciclaje, y la crisis que desde ya se está sufriendo por el fin de la vida útil del Relleno Sanitario Doña Juana, se simuló distintos escenarios de gestión, incluidos los indicadores de porcentaje de residuos sólidos aprovechados y dispuestos adecuadamente como los únicos parámetros del ICAU por evaluar en este trabajo.

Como se puede notar, estos dos indicadores son importantes para determinar la calidad ambiental de la ciudad, sin embargo, en el Índice de Calidad Ambiental Urbana manejado en el país no se encuentran datos de residuos sólidos aprovechados para Bogotá y el indicador de residuos dispuestos adecuadamente de la ciudad arroja un resultado calificado como "bajo" (Díaz, Granados y Saldaña, 2015). Se evidencia, entonces, la necesidad de plantear estrategias y actividades para evaluar escenarios donde se incremente el aprovechamiento de residuos y así se disminuya la cantidad que se destina a disposición final, por lo cual el objetivo de esta investigación es elaborar un modelo para la evaluación dinámica de la gestión de residuos ordinarios en Bogotá y su influencia en el ICAU.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología consistió principalmente en 3 etapas principales: revisión bibliográfica

internacional, contextualización de información para el modelamiento del problema en Bogotá y modelamiento con Dinámica de Sistemas.

Revisión bibliográfica: En la revisión del estado del arte internacional, se recopiló información y resultados de investigaciones similares a la de esta propuesta, las cuales vinculaban el modelamiento para la gestión de residuos. Se encontró un modelo de gestión de residuos para Bangkok, Tailandia, donde se propusieron distintos escenarios de separación en la fuente, con los que, después de cuatro años, se lograron cambios importantes en la vida útil del Relleno Sanitario (Sukholtham y Sharp, 2016).

De igual manera, Zanjani, Kiani, Saeedi y Vosoogh (2012) plantearon un modelo para la gestión de residuos de Teherán, Irán, incluyendo variables económicas y políticas en el mismo. Esto les permitió llegar a conclusiones más específicas, como aquella que afirma que lo más importante, en lugar de introducir el concepto de separación en la fuente, es la planeación adecuada, la aplicación de políticas públicas, la participación constante y efectiva de la sociedad y el acceso a información actualizada, las cuales son las verdaderas herramientas para que la gestión de residuos sea eficiente ambiental, social y económicamente.

Similar al caso anterior, Sufian y Bala (2007), modelaron la gestión de residuos sólidos de Daca, Bangladesh, cuya conclusión es que la generación de energía a partir de los residuos es una buena estrategia para mitigar impactos ambientales. Se encontraron investigaciones más específicas, como la de Hénault-Ethier, Martin y Housset (2017), en la que desarrollaron un modelo para la gestión de residuos orgánicos en Quebec, Canadá y Ding, Yi, Tam, y Huangl (2016), lo hicieron para residuos de construcción en China.

Contextualización de información para el modelamiento del problema: para tener información más cercana al caso de Bogotá, se indagaron otros artículos, tales como el de Sáez y Urdaneta (2014), quienes realizaron una revisión bibliográfica sobre la gestión de residuos sólidos en algunos países de América Latina y el Caribe. Porras (2018), relacionó el incremento poblacional del municipio de Chía con la creciente generación de residuos sólidos y creó planes de acción para mejorar todo el sistema de gestión.

Ávila, Nieto, Jiménez y Osorio (2011), a través del software Vensim, propusieron un modelo de gestión de residuos en Cali y analizaron distintas estrategias para prolongar la vida útil del relleno sanitario.

Finalmente, Sánchez (2012), realizó una investigación sobre las posibles consecuencias de implementar la estrategia complementaria de incinerar una mayor cantidad de residuos en Bogotá y prolongar la vida útil del relleno Doña Juana.

Además de investigaciones similares, se recopilaban datos cuantitativos para la modelación, por lo cual se consultó el PGIRS (2016), obtenido mediante un derecho de petición realizado a la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP). El documento proporcionó información acerca de la cantidad de residuos dispuestos en el Relleno Sanitario y la vida útil del mismo, aprovechamiento, frecuencias de recolección, residuos recolectados y caracterización de los mismos, papel de los recicladores, los prestadores y los operadores del servicio público de aseo, proyecciones (de población, de generación de residuos y económicas), problemas de la gestión actual, objetivos y metas, entre otros aspectos que fueron importantes para esta propuesta.

También se consultaron fuentes como el DANE para revisar datos demográficos; el

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, como base para la implementación de los indicadores del Índice de Calidad Ambiental Urbana; la UAESP y la Secretaría Distrital de Ambiente también fueron consultadas para comparar los datos obtenidos del PGIRS y recopilar otros que no estuvieran disponibles en dicho documento.

Lo más importante de la revisión bibliográfica fue hacer un análisis de contenido, mediante el cual se interpretó, comparó, ordenó y priorizó (por año e importancia) la información obtenida, para generar resultados muy cercanos a la realidad.

Modelamiento con Dinámica de Sistemas: teniendo en cuenta la información y los datos reunidos, se definieron las variables más importantes del estudio: población, recolección, disposición final, aprovechamiento de residuos orgánicos y reciclaje, debido a que son comunes en los modelos estudiados e importantes en la gestión de residuos sólidos de la ciudad. El análisis de los anteriores aspectos fue histórico, es decir, se revisó su comportamiento en los últimos años, para establecer una tendencia pasada y poder predecir tendencias futuras, las cuales se comprobarán con el modelo.

La Dinámica de Sistemas es una metodología creada por Forrester en el MIT y puede entenderse como una herramienta que muestra cómo ciertos objetos, procesos o sistemas cambian a través del tiempo (Forrester, 1999). El concepto de sistema es importante para esta metodología y se entiende como una unidad formada por diferentes elementos que interactúan de manera coordinada para cumplir un determinado fin. La dinámica de sistemas también ayuda a entender cómo se relacionan las variables y permite mostrar las posibles consecuencias de la alteración de una sola de ellas (Aracil, 1995; Sukholthaman y Sharp, 2016).

Para la Dinámica de Sistemas, es importante la creación de estructuras de realimentación (Zanjani, Kiani, Saedi, y Vosoogh, 2012), las cuales se definen como representaciones formales de los factores más importantes de un problema y sus respectivas relaciones (Ibarra y Redondo, 2015).

Luego de la conceptualización e identificación del problema, la Dinámica de Sistemas busca la formulación y la evaluación del mismo. La formulación, por su parte, se define como la creación de un diagrama de niveles y flujos, a través de un software específico. La evaluación es el paso en el que se demuestra el comportamiento de las variables, se ajustan a la realidad y se modelan diferentes escenarios (Redondo et al, 2018).

RESULTADOS

1. Dinámica de Sistemas:

a. Diagrama causal: de acuerdo con la metodología, lo primero que se obtuvo fue el diagrama causal (Figura 1) y se puede entender a partir de la población. Factores como los nacimientos, las muertes, la emigración y la inmigración afectan la cantidad de personas de la ciudad de Bogotá; sin embargo, para sintetizar estas relaciones, se usa el concepto de incremento neto, que reúne las variables mencionadas anteriormente y que llevan, en conjunto, a tener un efecto en la población. Por lo tanto, si hay un incremento neto positivo, la población aumentará y si esta última aumenta, el incremento neto también lo hará, por lo cual dicho bucle es de refuerzo.

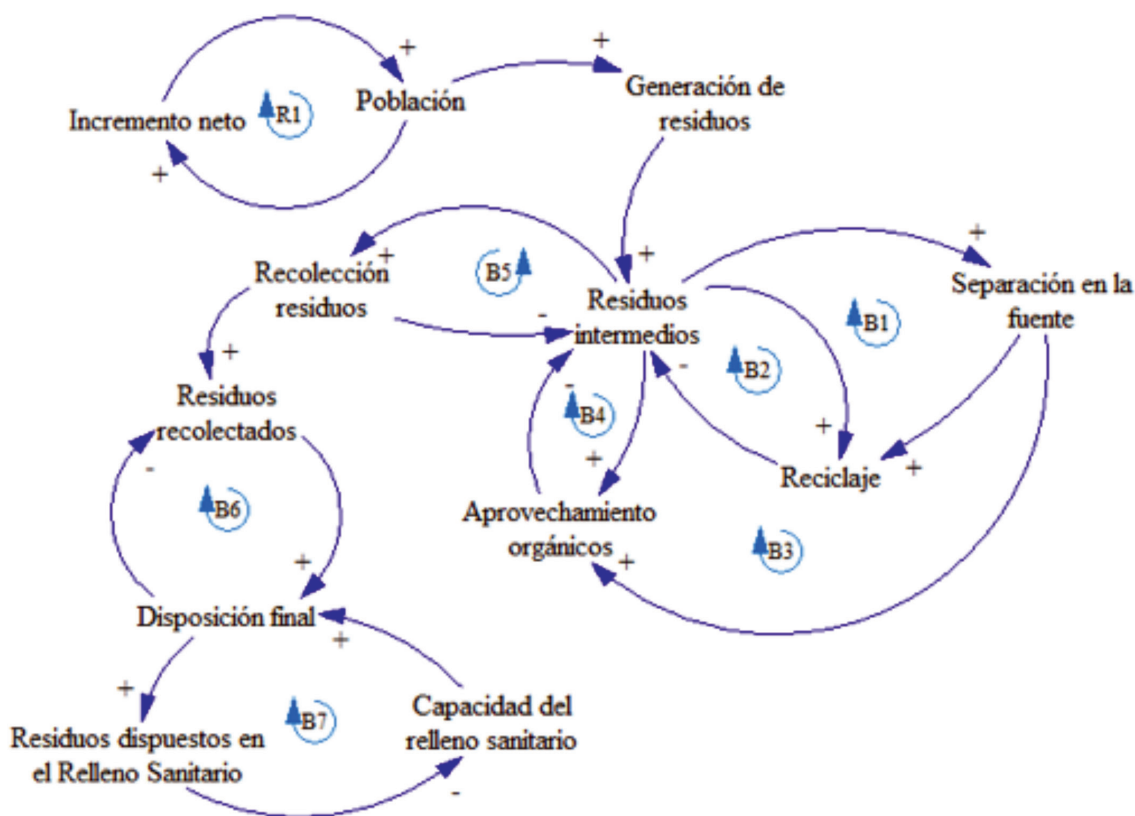


Figura 1. Diagrama causal de la gestión de residuos en Bogotá. B: Bucles de Balance; R: Bucle de Refuerzo.

Fuente: Autores.

Si la población incrementa, habrá más generación de residuos, por lo tanto, habrá más residuos intermedios, definidos en el modelo como aquellos que resultan después de los procesos de aprovechamiento, para ser recogidos y destinados a disposición en relleno sanitario. Lo que ocurre, entonces, es que si se aplican diferentes estrategias, dichos residuos pueden disminuir; por ejemplo, entre más residuos intermedios, se hará más separación en la fuente, lo que permitirá dos acciones: la primera, más reciclaje y, por lo tanto, menos residuos intermedios (primer bucle de balance, del que se genera otro entre los residuos y el reciclaje); la segunda, más aprovechamiento de material orgánico y menos residuos intermedios (tercer bucle de balance, del que se genera otro entre los residuos y el aprovechamiento).

Los residuos intermedios también disminuyen con la recolección, puesto que pasan a ser residuos recolectados, aquellos que van en el vehículo transportador. De esta forma, se crea el quinto bucle de balance, pues entre más residuos acumulados, habrá más recolección, pero si hay más recolección, los residuos acumulados disminuirán.

Con la recolección, aumentan los residuos recolectados, los cuales deben disponerse, es así como a mayor cantidad de residuos recolectados, más disposición final debe hacerse, pero a mayor disposición final, aquellos residuos presentes en los vehículos disminuirán; lo anterior permitió crear el sexto bucle de balance.

Finalmente, si se hace más disposición final, habrá mayor cantidad de residuos en el Relleno Sanitario, lo que hará que la capacidad del mismo disminuya; al observar este último aspecto detalladamente, se puede ver que, a menor capacidad del relleno, se podrá hacer menos disposición final de residuos, lo que permite crear el último bucle de balance.

Diagrama de niveles y flujos: luego del diagrama causal, la traducción a diagrama de niveles y flujos se realizó con la ayuda del software Vensim Ple y el resultado se observa en la figura 2; para esto, fue importante definir adecuadamente las variables de nivel y auxiliares, así como los flujos de entrada y salida.

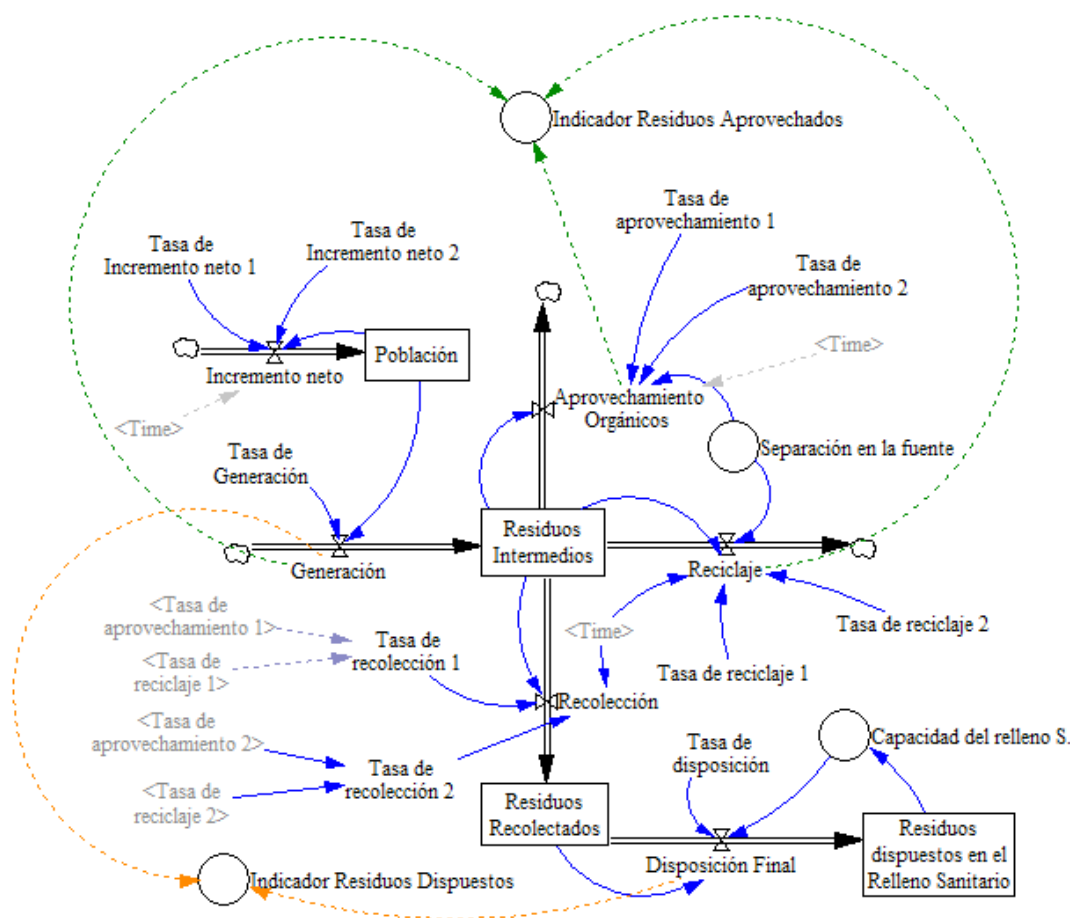


Figura 2. Diagrama de niveles y flujos de la gestión de residuos en Bogotá.

Fuente: Autores.

$$\% \text{Residuos sólidos aprovechados} = \frac{\text{Residuos Sólidos Aprovechados}}{\text{Residuos Sólidos generados}} * 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\% \text{Residuos dispuestos adecuadamente} = \frac{\text{R.S. Dispuestos adecuadamente}}{\text{Residuos Sólidos generados}} * 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Para iniciar, en este diagrama se realizó la vinculación de los indicadores seleccionados del ICAU. Para desarrollar este paso adecuadamente, las ecuaciones 1 y 2 se tomaron como referencia; como se puede notar, en ellas se involucran las variables de residuos sólidos aprovechados, residuos sólidos generados y residuos sólidos dispuestos adecuadamente, las cuales se encuentran implícitas en el modelo.

Para terminar con la creación del diagrama de niveles y flujos, se elaboró el modelo matemático, a través de ecuaciones de nivel, de flujo y auxiliares. A continuación, se realizó el análisis dimensional, herramienta que verifica la coherencia de las dimensiones (o unidades) en las dos partes de una ecuación, para determinar si ésta es realmente aplicable (dimensionalmente homogénea) (Martínez, 2004).

De acuerdo con esto, en la tabla 1 se pueden ver todas las variables incluidas en el modelo y cómo estas se simbolizan en el uso de las ecuaciones.

Tabla 1. Denominación y representación de las variables.

Variable	Representación
Población	P
Residuos Intermedios	RI
Residuos Recolectados	RR
Residuos Dispuestos en el Relleno Sanitario	RD
Incremento neto	IN
Generación	G
Aprovechamiento de orgánicos	A
Reciclaje	Recicl.
Recolección	Recol.
Disposición Final	DF
Tasa de incremento neto	Ti
Tasa de generación	Tg
Tasa de recolección	Trcn
Tasa de aprovechamiento	Ta
Tasa de reciclaje	Tr
Tasa de disposición	Td
Separación en la fuente	SF
Capacidad del relleno sanitario	CR
Indicador residuos aprovechados	I ₁
Indicador residuos dispuestos	I ₂
Capacidad total del relleno sanitario	CTR

De acuerdo con lo anterior, a continuación, se establecen las ecuaciones usadas en el modelo y su respectivo análisis dimensional:

Ecuaciones de nivel:

Población: $\frac{dP}{dt} = IN$ (Ecuación 3)
 $[hab/año] = [hab/año]$

Residuos intermedios:

$$\frac{dRI}{dt} = G - A - Recol. - Recicl. \text{ (Ecuación 4)}$$

$$[Ton/año] = [Ton/año] - [Ton/año] - [Ton/año] - [Ton/año]$$

$$[Ton/año] = [Ton/año]$$

Residuos recolectados:

$$\frac{dRR}{dt} = \text{Recol.} - DF \text{ (Ecuación 5)}$$

$$[Ton/año] = [Ton/año] - [Ton/año]$$

$$[Ton/año] = [Ton/año]$$

Residuos dispuestos en el Relleno Sanitario:

$$\frac{dRD}{dt} = DF \text{ (Ecuación 6)}$$

$$[Ton/año] = [Ton/año]$$

Ecuaciones de flujo:

Incremento neto:

$$IN = P * ti \text{ (Ecuación 7)}$$

$$[hab/año] = [hab] * [\%/año]$$

$$[hab/año] = [hab/año]$$

Generación:

$$G = P * tg \text{ (Ecuación 8)}$$

$$[Ton/año] = [hab] * [Ton/(hab * año)]$$

$$[Ton/año] = [Ton/año]$$

Aprovechamiento:

$$A = RI * SF * ta \text{ (Ecuación 9)}$$

$$[Ton/año] = [Ton] * [1] * [\%/año]$$

$$[Ton/año] = [Ton/año]$$

Reciclaje:

$$\text{Recicl.} = RI * SF * tr \text{ (Ecuación 10)}$$

$$[Ton/año] = [Ton] * [1] * [\%/año]$$

$$[Ton/año] = [Ton/año]$$

Recolección:

$$\text{Recol.} = RI * trcn \text{ (Ecuación 11)}$$

$$[Ton/año] = [Ton] * [\%/año]$$

$$[Ton/año] = [Ton/año]$$

Disposición Final:

$$DF = RR * td \text{ (Ecuación 12)}$$

$$[Ton/año] = [Ton] * [\%/año]$$

$$[Ton/año] = [Ton/año]$$

Ecuaciones auxiliares:

Capacidad del Relleno Sanitario:

$$CR = CTR - RD \text{ (Ecuación 13)}$$

$$[Ton] = [Ton] - [Ton]$$

$$[Ton] = [Ton]$$

Indicador Residuos Aprovechados:

$$I_1 = \frac{A + \text{Recicl.}}{G} \text{ (Ecuación 14)}$$

$$I_1 = \frac{[Ton/año] + [Ton/año]}{[Ton/año]}$$

$$I_1 = [1]$$

Indicador Residuos Dispuestos:

$$I_2 = \frac{DF}{G} \text{ (Ecuación 15)}$$

$$I_2 = \frac{[Ton/año]}{[Ton/año]}$$

$$I_2 = [1]$$

2. Simulación del modelo: luego de estructurar el problema de forma cualitativa, se vinculó la información cuantitativa, mediante la simulación del modelo con los datos obtenidos en la revisión bibliográfica. El software Vensim Ple se utilizó para realizar las respectivas simulaciones, entendidas como experimentaciones con el sistema (Aracil, 1995) y se obtuvieron los primeros resultados por medio del diagrama de niveles y flujos y el modelo matemático.

En la tabla 2 se muestran los datos usados como condiciones iniciales de cada variable, así como su respectiva obtención.

Tabla 2. Parámetros y Condiciones iniciales del Modelo.

Variable	Valor	Unidades	Año	Fuente
Población (P)	6.824.507	Habitantes	2006	DANE, 2015.
Residuos Intermedios (RI)	2.132.328	Ton	2006	Residuos generados. UAESP, 2014.
Residuos Recolectados (RR)	2.009.079	Ton	2006	Cálculo a partir de la resta entre los residuos intermedios y los aprovechados (123.249 Ton/año, según la tasa de aprovechamiento calculada para el 2006).
Residuos Dispuestos en el Relleno Sanitario (RD)	2.009.079	Ton	2006	Suposición de cero pérdidas entre la recolección y la disposición.
Tasa de incremento neto 1 (ti_1)	1,426	%/año	2006 - 2015	Cálculo a partir de los incrementos anuales de la población en dicho periodo.
Tasa de incremento neto 2 (ti_2)	1,244	%/año	2016 - 2020	Cálculo a partir de los incrementos anuales de la población en dicho periodo.
Tasa de generación (tg)	0,312452	Ton/hab-año	2006	Cálculo a partir de los residuos intermedios y la población.
Tasa de recolección 1 ($trcn_1$)	86,31	%/año	2006 - 2015	Cálculo a partir de la resta entre el 100 % y las tasas de aprovechamiento y reciclaje respectivas.
Tasa de recolección 2 ($trcn_2$)	83,41	%/año	2006 - 2015	Cálculo a partir de la resta entre el 100 % y las tasas de aprovechamiento y reciclaje respectivas.
Tasa de aprovechamiento 1 (ta_1)	5,78	%/año	2006 - 2015	Cálculo. Se obtuvieron los datos de aprovechamiento en la ciudad en los últimos años (2014-2017). Durante el año 2014 se aprovechó el 12,75 % de los residuos generados, en el 2015 el valor fue de 14,62 %, en el 2016 de 14,03 % y en el 2017 de 19,15 % (Observatorio Ambiental de Bogotá, s.f.). Se generaron los promedios del 2014 y 2015 (13,69 %) para obtener la primera tasa de aprovechamiento y del 2016 y 2017 (16,59 %) para la segunda tasa. Sin embargo, este valor abarca tanto aprovechamiento como reciclaje, por lo cual se tuvo en cuenta la caracterización del 2016 y se observó que el 42,24 % fue materia orgánica. Si se relaciona este último porcentaje con los primeros, se obtiene un resultado de 5,78 % de aprovechamiento de orgánicos para el primer periodo y de 7 % para el segundo.
Tasa de aprovechamiento 2 (ta_2)	7	%/año	2016-2020	
Tasa de reciclaje 1 (tr_1)	7,91	%/año	2006 - 2015	Cálculo. Teniendo en cuenta el valor total obtenido de 13,69 % y el valor de aprovechamiento de 5,78 %, resulta un 7,91 % para la tasa de reciclaje.

Continuación tabla 2

Variable	Valor	Unidades	Año	Fuente
Tasa de reciclaje 2 (tr_2)	9,59	%/año	2016 – 2020	Cálculo. Teniendo en cuenta el valor total obtenido de 16,59 % y el valor de aprovechamiento de 7 %, resulta un 9,59 % para la tasa de reciclaje.
Tasa de disposición (td)	100	% / año	-	Suposición en la que se asume que todos los residuos que se recogen en los correspondientes vehículos y que no fueron objeto de aprovechamiento o reciclaje, se llevan a disposición final.
Separación en la fuente (SF)	1 – 10	-	-	Factor adimensional del modelo que incide en el aprovechamiento y el reciclaje.
Capacidad total del relleno sanitario (CTR)	71.499.073	Ton	2006 – 2038	Cálculo a partir de los residuos dispuestos del 2006 al 2017 y de la proyección de los que se dispondrán del 2018 al 2038. Se supone la creación de un nuevo relleno sanitario con dicha capacidad en toneladas.

Calibración y validación del modelo: por un lado, la calibración es la optimización de todas las variables y flujos, a través de comparaciones de los comportamientos obtenidos en el modelo y los resultantes de la revisión bibliográfica (tendencias). Por otro lado, la validación se refiere al análisis de los errores relativos y al ajuste de los mismos para que resulten pequeños y los resultados futuros sean confiables (Méndez, 2012).

Para llevar a cabo este proceso, la variable de

población es la primera que se puede analizar, pues es de la cual hay más información disponible y es la base de todo el modelo. De esta forma, para definir si la variable se comporta de acuerdo con las tendencias reales, se toma como base el año 2006, en el cual, según el DANE, había un total de 6.824.507 personas en la zona urbana de Bogotá (DANE, 2015). Teniendo en cuenta, además, las tasas de incremento neto definidas en la Tabla 2, se obtienen los resultados visibles en la Figura 3.

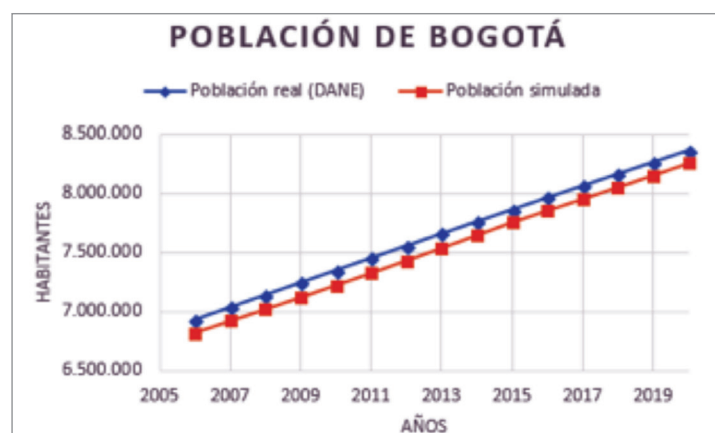


Figura 3. Comportamiento de la validación de la población.

Fuente: Autores.

De la comparación entre resultados modelados y los dados por el DANE, se puede decir que el modelo sigue la tendencia de los datos reales; además, el mayor error relativo que se obtuvo fue de 1,67486 %, lo que quiere decir que la diferencia entre valores no es muy grande y los datos modelados sí representan de forma cercana la realidad de la población en la ciudad.

Otra variable que se puede calibrar es la de

Residuos Dispuestos en el Relleno Sanitario, cuyo valor fue de 1.960.000 toneladas en el 2006, 2.239.335 en el 2010 y 2.253.072 en el 2016 (Observatorio Ambiental de Bogotá, s.f.). En este caso, tal como se observa en la figura 4, los resultados modelados reflejan una tendencia similar a los datos recolectados, aunque no sigue los comportamientos exactos; lo anterior se evidencia en los errores relativos, pues estos van desde 2,50408 % hasta 16,59291 %.



Figura 4. Comportamiento de validación de los residuos dispuestos.

Fuente: Autores.

Escenarios modelados: después de las respectivas validaciones y calibraciones, se modelan las condiciones actuales de las variables, así como también 4 simulaciones que representan diferentes estrategias que buscan mejorar la eficiencia del sistema y los resultados de los indicadores del ICAU.

El primer escenario representa un caso en el que se aumenta 3 veces la separación en la

fuente y las demás condiciones se mantienen; el segundo escenario muestra un 20 % de todo tipo de aprovechamiento, dividido en 8,45 % para orgánicos y 11,55 % de reciclaje; al tercero, con las mismas condiciones del segundo, se le suma un aumento en 3 veces la separación en la fuente; por último, el cuarto escenario se caracteriza por un 21,12 % de aprovechamiento, 28,88 % de reciclaje y 3 veces la separación en la fuente.



Figura 5. Comportamiento de la disposición final en diferentes escenarios.

Fuente: Autores.

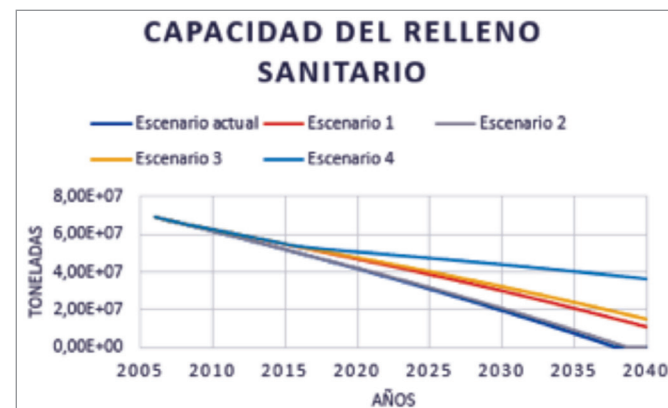


Figura 6. Comportamiento de la capacidad del relleno sanitario en diferentes escenarios.

Fuente: Autores.



Figura 7. Comportamiento del indicador de residuos aprovechados en diferentes escenarios.

Fuente: Autores.



Figura 8. Comportamiento del indicador de residuos dispuestos en diferentes escenarios.

Fuente: Autores.

DISCUSIÓN

En las figuras 5 y 6 se observa claramente, que el escenario actual puede mejorar y que pueden llevarse menos residuos al relleno sanitario. El escenario 2 demuestra la menor eficiencia, debido a que en menos de un año iguala la cantidad de residuos dispuestos del escenario actual, agotando así la vida útil del relleno sanitario en un período corto. Con el escenario 1, para el 2040 se tendría espacio disponible para 11.319.800 toneladas de residuos y con el escenario 3, para 14.934.000 toneladas.

En cuanto al indicador de residuos aprovechados, con el escenario 3 se alcanzaría un aprovechamiento constante del 42 %, con el escenario 1 se mantendría un valor de 37 % y con el escenario 2, un aprovechamiento del 19 %, 3 puntos porcentuales por encima del escenario actual.

Teniendo en cuenta la ecuación 2, un valor alto del indicador de residuos dispuestos señala que más residuos del total de los generados se llevan a disposición; si el objetivo es aprovechar más residuos y disminuir de forma importante los que se llevan al relleno sanitario, es importante que este indicador tenga valores

bajos. El escenario actual mantiene un valor de 81,37 % de residuos dispuestos adecuadamente, el escenario 2 de 78,05 %, el escenario 1 de 61,29 % y el escenario 3 de 55,94 %.

De acuerdo con todo lo anterior, el escenario 2, que plantea un aumento del 3,41 % en el aprovechamiento total (tanto de orgánicos, como reciclaje), es el que genera menos mejoras, pues los resultados muestran que las tendencias se comportan de forma muy similar al escenario actual. Luego, el escenario 1, que busca aumentar únicamente la separación en la fuente, además de prolongar la vida útil del relleno sanitario, mejora en un 21 % el indicador de residuos aprovechados y en 20,08 % el indicador de residuos dispuestos adecuadamente; el escenario 3, como conjunto de los dos anteriores, refleja aumento del 26 % en el primer indicador y, comparado con el escenario actual, el segundo indicador muestra que es un 25,43 % más favorable.

Finalmente, el escenario 4, que busca aumentar 33,41 % el total de aprovechamiento e incentivar la separación en la fuente, permite ver los mejores resultados, pues para el 2040 se tendría espacio disponible para 36.365.900

toneladas de residuos, 21.431.900 más que el escenario 3; además, el indicador de residuos aprovechados alcanza el 74,54 % y el de residuos dispuestos adecuadamente 24,54 %, los más favorables del análisis.

En su investigación, Sáez y Urdaneta (2014), llegaron a la conclusión de que en América Latina y el Caribe, la gestión de residuos se enfoca en la recolección y en la disposición final, sin prestar la suficiente atención a las demás variables del sistema; sumado a lo anterior, Porras (2018), afirma que, específicamente, en el departamento de Cundinamarca, los rellenos sanitarios se han tomado como la única alternativa, dejando de lado otras estrategias importantes. Bogotá no es ajena a la situación descrita y las distintas problemáticas que hoy se presentan, se han generado debido a la falta de un análisis integral del sistema.

Como se pudo ver con los distintos escenarios, la ciudad necesita plantear estrategias que tengan como objetivo incrementar el aprovechamiento de residuos y así disminuir la cantidad que se destina a disposición final.

Según el Gobierno Nacional, existen múltiples vías para mejorar el manejo de residuos sólidos de una ciudad como Bogotá, enmarcadas dentro de cuatro grandes grupos: el primero de ellos reúne estrategias para disminuir la generación de residuos, minimizar la cantidad dispuesta y promover reutilización, aprovechamiento y tratamiento de los mismos; el segundo grupo va dirigido directamente a la sociedad y hace referencia a estrategias que permitan educar a la población en este tema; el tercero está dirigido a los demás actores y busca que cada participante de la gestión asuma toda la responsabilidad y actúe para mejorar el proceso; por último, el cuarto grupo busca que las autoridades ambientales realicen controles rigurosos sobre cada actividad

realizada dentro de la gestión de los residuos (CONPES 3874, 2016). Todas las estrategias antes mencionadas, son de suma importancia para el sistema, pues permiten reducir la generación de residuos, aumentar la separación y aprovechamiento de los mismos, reducir los niveles de contaminación y prolongar la vida útil del relleno sanitario (Ávila, Nieto, Jiménez y Osorio, 2011).

El análisis de los diferentes escenarios permite ver que la opción que incrementa la separación en la fuente (escenario 1) tiene un mejor resultado que aquella que plantea un mayor aprovechamiento de los residuos (escenario 2), lo que indica que es indispensable que la Alcaldía se enmarque, inicialmente, en el segundo grupo de estrategias, es decir, la educación a la población. Como lo mencionan varios autores, para obtener buenos resultados es clave sensibilizar a la población con respecto a los residuos generados en cada una de las actividades diarias e impulsar su participación responsable en el sistema de gestión (Sáez y Urdaneta, 2014; Ávila, Nieto, Jiménez y Osorio, 2011).

Desde la Alcaldía anterior se ha buscado que se seleccionen los residuos ordinarios en bolsa negra y los residuos reciclables en bolsa blanca, lo cual puede explicar el aumento del 5,12 % en el aprovechamiento de residuos del 2016 al 2017. Sin embargo, se deben plantear estrategias más sólidas, que busquen una selección más estricta de los residuos, es decir que, por ejemplo, se separe materia orgánica de los residuos ordinarios y el plástico del papel y cartón; además, es claro que se debe buscar un incremento en la cantidad de personas que realicen separación en la fuente, para que toda la gestión sea más eficiente.

Establecer políticas públicas efectivas debe ser el primer paso para generar cambios positivos

importantes en todo el sistema de gestión de residuos sólidos en Bogotá, sin embargo, para esto es fundamental el interés, la inversión y la coordinación de quienes gobiernan la ciudad, quienes tienen a cargo este servicio y todas aquellas instituciones con competencia en esta gestión (Sáez y Urdaneta, 2014; Porras, 2018); además, debe contarse con el apoyo de las autoridades ambientales, para verificar que cada actividad involucrada en la gestión de residuos se esté llevando a cabo adecuadamente y que no impacte negativamente la calidad ambiental urbana.

Continuando con la línea de estrategias, la Alcaldía, luego de promover la educación a la población, debe buscar la minimización de la cantidad de residuos que se llevan a disposición a través de incentivos a empresas o asociaciones que se dediquen a reciclar, tratar, reutilizar o aprovechar residuos. Es importante, entonces, que se eduque a la población recicladora en temas como la gestión empresarial y el Registro Único de Recicladores de Oficio (RURO); además, que se planee adecuadamente el proceso para la formalización de los mismos y que se brinden mecanismos más eficientes para la recolección selectiva. Estas estrategias atenderán el aspecto fundamental de los problemas principales del sistema de gestión de residuos en Bogotá: la informalidad, pues, tal como sucede en algunos países de América Latina y el Caribe, aún se observan personas que trabajan en las calles, separando los residuos que desde los hogares no se segregan (Sáez y Urdaneta, 2014).

La formalización de los recicladores es un punto clave, pues esto permite organizar toda la cadena desde la recolección hasta la comercialización de los nuevos productos, teniendo en cuenta aspectos como las rutas selectivas, la sectorización de la ciudad y el establecimiento formal de centros acopio, transferencia, reciclaje y aprovechamiento, tal como lo afirmó Porras (2018), como conclusión al análisis del

modelo de residuos en Chía, Cundinamarca.

Además, es importante también que el Distrito tome en cuenta los registros que existen de cantidad y caracterización de los residuos sólidos que se generan en la ciudad y aquellos que llegan al relleno sanitario (Sáez y Urdaneta, 2014), para que a partir de todos estos datos, se planifique adecuadamente el sistema de gestión y se puedan tomar en cuenta otras estrategias alternativas al relleno sanitario, como la incineración de ciertos residuos, tal como lo registró Sánchez (2012).

Según Goicochea (2015), en los últimos años se han desarrollado distintos modelos para la gestión de residuos sólidos, vinculando variables sociales, económicas y ambientales, con el fin de apoyar la toma de decisiones; sin embargo, es importante tener en cuenta que todos los modelos tienen limitaciones, al asumir ciertas variables y no considerar todo el proceso. Por ejemplo, en Bogotá, así como en otras ciudades de América Latina y el Caribe, una de las limitaciones más grandes en la gestión de residuos sólidos es el cambio de administración, pues genera discontinuidad en todos los procesos (Sáez y Urdaneta, 2014).

CONCLUSIONES

En esta investigación, se tomó como base la creación de un nuevo relleno sanitario que pudiera funcionar hasta el 2038 con las condiciones actuales de generación, aprovechamiento y reciclaje. Se logró observar, a través de un modelo creado con ayuda del software Vensim Ple, que es urgente aumentar la separación en la fuente en los hogares bogotanos y que es importante para promover el aprovechamiento de los residuos.

Para esto, es indispensable planear y priorizar adecuadamente las estrategias que se deben impulsar, estimular la inversión en tecnologías

para tratamiento y aprovechamiento de residuos sólidos, contar con un marco normativo sólido y acompañamiento estricto de las respectivas autoridades ambientales, iniciar un arduo plan educativo tanto para la población generadora como para la población recicladora, establecer cuántas y cuáles bolsas deben usarse para la respectiva selección de residuos, promover el desarrollo de alternativas para el manejo de residuos a través de estudios universitarios e informar a la población con datos actualizados y fácilmente entendibles.

Como se pudo ver en las diferentes simulaciones, unos escenarios generaban más beneficios que otros; sin embargo, con el más mínimo aumento de separación en la fuente o de aprovechamiento, empezaban a haber cambios importantes en toda la gestión de residuos sólidos, los cuales llevaban a prolongar la vida útil del relleno sanitario. Lo anterior quiere decir que no es urgente aumentar el aprovechamiento al 50 %, pero sí es importante llevar a cabo una transición lenta pero eficiente con aumentos constantes de las dos variables.

Con el aumento paulatino de la separación en la fuente y del aprovechamiento, sumado a la implementación de estrategias que mejoren las demás variables del sistema, se irá mejorando, poco a poco, el indicador de residuos aprovechados que, a su vez, contribuirá al mejoramiento del ICAU, relacionado, además, con la calidad de vida de la población de la ciudad.

De acuerdo con lo anterior, se espera que esta investigación y sus resultados sean útiles para la planeación de la gestión de residuos sólidos en Bogotá y para la aplicación de las diferentes estrategias que actualmente tiene la Alcaldía y aquellas que presente la próxima administración, a través del PGIRS, para obtener mejores resultados en los indicadores de residuos aprovechados y dispuestos.

A través de esto, se logrará que el manejo de los residuos sólidos no sea uno de los servicios públicos más críticos, sino que, por el contrario, se convierta en la vía para mejorar la calidad ambiental urbana, crear conciencia y compromiso en la población e incrementar la calidad de vida de los ciudadanos.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se desarrolló gracias al Ingeniero Danny Ibarra, integrante del semillero de investigación de Ingeniería Ambiental y Bioprocesos de la Universidad Sergio Arboleda. Además, se impulsó gracias a la participación financiada por la Universidad Sergio Arboleda en el Tercer Congreso Nacional de Ciencias Ambientales, desarrollado en la ciudad de Barranquilla, del 23 al 25 de octubre de 2017.

LITERATURA CITADA

- Aracil, J. (1995). *Dinámica de Sistemas*. Editorial Edison. Madrid, España: Editorial Edison.
- Ávila, S. L., Nieto, M. S., Jiménez, D. C., y Osorio, J. C. (2011). Análisis del impacto generado en un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos por el aumento de los residuos asociados al crecimiento de la población a través de Dinámica de Sistemas. *Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario, Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas*.
- CONPES 3874. Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, Colombia, 21 de noviembre de 2016.
- DANE, Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2005). Censo General 2005. Nivel Nacional.
- DANE, Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2009). Proyecciones nacionales y departamentales de población 2005 - 2020.
- DANE, Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2015). Estimaciones de población 1985 - 2005 y proyecciones de población 2005 - 2020. Total departamental por área.
- Díaz, A., Granados, S., y Saldaña, A. (2015). Informe Nacional de Calidad Ambiental Urbana. Áreas urbanas con población superior a 500.000 habitantes: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

- Díaz, A., Granados, S., y Valdés, D. (2016). Índice De Calidad Ambiental Urbana-ICAU. Política de Gestión Ambiental Urbana.
- Ding, Z., Yi, G., Tam, V. W., y Huang, T. (2016). A system dynamics-based environmental performance simulation of construction waste reduction management in China. *Waste Management*, 51, 130-141.
- Forrester, J. W. (1999). Industrial dynamics. Ed. Pegasus Communications Inc.
- Goicochea, O. C. (2015). Evaluación ambiental del manejo de residuos sólidos domésticos en La Habana, Cuba. *Ingeniería Industrial*, 36(3), 263-274.
- Hénault-Ethier, L., Martin, J.P., y Housset, J. (2017). A dynamic model for organic waste management in Quebec (D-MOWIQ) as a tool to review environmental, societal and economic perspectives of a waste management policy. *Waste Management*, 66(1), 196-209.
- Ibarra, D. W., y Redondo, J. M. (2015). Dinámica de sistemas, una herramienta para la educación ambiental en ingeniería. *Revista Luna Azul*, 41, 152-164.
- Martínez, J. (2004). Análisis Dimensional: Apuntes de Mecánica de Fluidos. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Gijón (Ed.). Universidad de Oviedo. Gijón, España.
- Méndez, M. (2012). Calibración y validación del modelo hidrológico SWMM en cuencas hidrográficas de alta pendiente en Costa Rica: Tecnología En Marcha. Costa Rica.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (Sin fecha). Índice Calidad Ambiental Urbana - ICAU.
- Observatorio Ambiental de Bogotá. (Sin fecha). Porcentaje de Residuos sólidos aprovechados - RSA: Información detallada del indicador.
- Observatorio Ambiental de Bogotá2. (Sin fecha). Disposición de Residuos en el Relleno Sanitario Doña Juana- DRRSDJ: Información detallada del indicador.
- Porras, A. P. (2018). Residuos sólidos en el municipio de Chía vs crecimiento poblacional un indicador ambiental para ejecutar planes de acción enmarcados en la política pública. *Universidad Militar Nueva Granada*.
- Redondo, J. M., Ibarra, D., Monroy, L., y Bermúdez, J. (2018). Evaluación de estrategias para la gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. *Dyna*, 85(205), 319-327.
- Sáez, A., y Urdaneta, J. A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, 20(3), 121-135.
- Sánchez, J. L. (2012). Modelación de la incineración de residuos sólidos urbanos como alternativa complementaria al relleno sanitario Doña Juana en Bogotá. *Pontificia Universidad Javeriana*.
- Secretaría del Hábitat y UAESP. (2016). Documento técnico de soporte del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos para Bogotá D.C.
- Sufian, M. A., y Bala, B. K. (2007). Modeling of urban solid waste management system: The case of Dhaka city. *Waste Management*, 27(7), 858-868.
- Sukholthaman, P., y Sharp, A. (2016). A system dynamics model to evaluate effects of source separation of municipal solid waste management: A case of Bangkok, Thailand. *Waste Management*, 52(1), 50-61.
- UAESP, Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos. (2014). Documento para Discusión. Modelo de aprovechamiento propuesto. Recolección, transporte, clasificación y pesaje.
- Zanjani, A. J., Kiani, B., Saeedi, M., y Vosoogh, A. (2012). The effect of the waste separation policy in municipal solid waste management using the system dynamic approach. *International Journal of Environmental Health Engineering*, 1(1), 5-10.

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.

INFLUENCIA DEL TIPO DE SECCIÓN TRANSVERSAL EN LA HIDRODINÁMICA DE LOS COLECTORES SOLARES DE LOS FOTOBIORREACTORES TUBULARES

INFLUENCE OF THE CROSS-SECTION TYPE IN THE HYDRODYNAMICS OF SOLAR COLLECTORS OF TUBULAR PHOTOBIOREACTORS

¹ **José Luis Ramírez Duque**
² **Mabel Angélica Ramos Lucumi**

¹ Doctorado en Ciencias, Ingeniería Mecánica de Energía y Fluidos, Pontificia Universidad Javeriana, Cali- Colombia.

² Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Autónoma de Occidente, Cali- Colombia

¹ Jose.ramirez@javerianacali.edu.co

² maramos@uao.edu.co

RESUMEN

Diversos estudios sobre los cultivos de microalgas muestran la relación de la eficiencia fotosintética con la agitación. Esta incidencia fue evaluada en colectores solares para fotobiorreactores tubulares que poseen diversas geometrías en el perfil transversal (circular, octagonal, hexagonal y cuadrado). En este trabajo se realizó un estudio computacional de un cultivo de microalgas (flujo monofásico) para cada uno de estos colectores solares con un diámetro hidráulico de 2 in, 100 in de longitud y seis diferentes velocidades de entrada del cultivo al colector (de 0,25 a 0,5 m/s), para establecer la influencia de los perfiles en el comportamiento del fluido. Se evaluaron los parámetros de velocidad, caída de presión, flujo secundario y esfuerzo cortante;

estableciendo que el colector con perfil hexagonal proporciona la mejor agitación debido a la irregularidad geométrica, aunque se deben utilizar velocidades de entrada del cultivo menores a 0.3 m/s para garantizar un modelo de crecimiento continuo de las microalgas, de acuerdo con la tendencia de la bibliografía. Bajo este régimen de operación se encontró que los valores de esfuerzos cortantes no causan daños en la pared celular de las microalgas haciendo viable su implementación en plantas piloto.

Palabras clave: *Agitación, Biomasa microalgal, Cultivos microalgales, Dinámica de fluidos computacional (CFD), Esfuerzos cortantes, Fotobiorreactor tubular (TFBR)*

ABSTRACT

Several studies in microalgae cultures show the relation between the photosynthetic efficiency and agitation, this effect was evaluated in solar collectors for tubular photobioreactors, which have different geometries in cross section (circular, octagonal, hexagonal and square). In this work, a computational study of microalgae culture (single-phase flow) for each of these solar collectors with a hydraulic diameter of 2 in, 100 in of length and six different culture inlet velocities to the collector (0.25 to 0.5 m/s) are performed to set the influence of profiles on the fluid behavior. The speed, pressure drop, secondary flow and shear stress was analyzed, establishing that

the collector with hexagonal profile provides better agitation due to the irregular geometry, but the inlet velocities of the culture must be used in the collector for less than 0.3 m/s to ensure a continuous growth model of microalgae according to the literature tendency. It was found, under this operation regime, that the shear stress values do not cause damage to the wall cell of the microalgae making this implementation feasible in pilot plants.

Keywords: *Agitation, Computational fluid dynamics (CFD), Microalgae biomass, Microalgae cultures, Shear stress, Tubular photobioreactors.*

INTRODUCCIÓN

El estudio de un fluido monofásico a través de un conducto es una de las combinaciones más elementales debido a que se establecen patrones comparativos para el análisis de otras configuraciones relacionadas, como el cambio de la presión, velocidad, viscosidad, número de Reynolds, temperatura, etc. La posición del conducto, vertical u horizontal, es una variante delimitante para el análisis del desarrollo del flujo pues las propiedades de los fluidos cambian: en posición vertical, el movimiento del fluido es debido a la presencia de la fuerza gravitacional que está en función de la altura del ducto, mientras que en un ducto de posición horizontal el movimiento del fluido está relacionado con la caída de presión del flujo, lo que establece una correlación directa con la velocidad del flujo.

En el caso del colector solar de un fotobiorreactor tubular (FBR), el comportamiento del fluido que transita a través de él es similar al que si circulara por un ducto o tubería lisa. Anteriormente, García et al. (2009), Leeuwener

et al. (2008) y Perner-Nochta et al. (1997), han diseñado colectores solares con agitadores estáticos para garantizar que todas las algas que se encuentran en el cultivo reciban la luz necesaria para realizar el proceso de fotosíntesis (Camacho et al., 1999 y Ugwu et al., 2005). Sin embargo, como una alternativa a este sistema de mezcla, en este trabajo propone la utilización de colectores solares no circulares que permitan ciertos niveles de turbulencia en el fluido, que podrían sustituir a los mezcladores del FBR.

Considerando que las microalgas presentan una flotabilidad neutra en el medio cultivo (Michels et al., 2010), en este artículo se analiza el comportamiento de un cultivo de microalgas como un fluido monofásico a través de los colectores solares horizontales de los fotobiorreactores tubulares de diferente perfil transversal (circular, octagonal, hexagonal y cuadrado). Se utiliza la herramienta de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) llamada Fluente, bajo el modelo estándar del esfuerzo de Reynolds.

FOTOBIORREACTORES

Desde la década de los cincuenta, se han efectuado múltiples estudios científicos con el fin de obtener, a partir de las microalgas, una nueva fuente de energía capaz sustituir los hidrocarburos fósiles (principalmente el petróleo) y que, a su vez, proteja el medio ambiente. De hecho, gracias a estos microorganismos existen escenarios que están contribuyendo en gran medida a mejorar las condiciones atmosféricas terrestres, gracias a su capacidad fotosintética, ya que permiten reducir la fijación del carbono en la atmosfera causante del efecto invernadero, proporcionando un ambiente más seguro. El cultivo de estos microorganismos es de importancia mundial principalmente por sus derivados (farmacéuticos, nutracéuticos, agroquímicos, alimenticios, etc.). La biomasa que se obtiene a partir de las algas se utiliza para la producción de biocombustibles (biodiesel, etanol o metano), aditivos de alimentos y fertilizante orgánicos (Kim, 2015).

En caso de que se requiera la adaptación a condiciones medioambientales de todas las especies biológicas, se impacta sobre las condiciones de diseño y operación de los equipos (Eriksen, 2008). Por tal motivo, el uso de tecnologías foráneas llevaría a tener disminuciones en la eficiencia y producción de ácidos grasos, lo que hace imprescindible la implementación de tecnologías locales que tengan en cuenta todas las condiciones ambientales de la región.

Los fotobiorreactores (FBR) se caracterizan por garantizar las condiciones óptimas para que se realice el correcto crecimiento y reproducción de microalgas y cianobacterias, con inyección de nutrientes (tales como el dióxido de carbono, nitrógeno y fósforo), energía fotónica (la luz solar o iluminación artificial) y eliminación de desechos producidos por el proceso de la fotosíntesis, propia de este tipo

de organismos (Chen et al., 2009). Entre los FBR más utilizados están los tubulares (*tubular photobioreactor*), columna de burbujas (*bubble column photobioreactor*) y panel o placa (*flat panel photobioreactor*) (Ramírez 2017).

Los FBR tubulares son sistemas cerrados desarrollados para la producción de microalgas que impiden que el cultivo tenga contacto con el aire, evitando cualquier contaminante externo al cultivo. Están compuestos por tubos de materiales transparentes (i.e. vidrio y policarbonato) rectos, enrollados o serpenteados, dispuestos en diferentes posiciones para capturar la radiación lumínica máxima para el cultivo de algas. El cultivo de microalgas en un FBR es un bache alimentado con un ciclo que va desde un almacenamiento o reserva (columna desgasificadora), hacia un colector solar y regresando al punto inicial de almacenamiento. En el colector solar se aplican varios métodos utilizados como generadores de movimiento para proveer la circulación del cultivo a través de él, por ejemplo los agitadores mecánicos y la inyección de aire (Camacho et al., 1999). Comúnmente, estos fotobiorreactores cuentan con una unidad llamada "Airlift" que, por medio de inyección de aire, genera el movimiento mientras que realiza la desgasificación en el colector, eliminando el oxígeno resultante de la fotosíntesis de las algas (Pruvost et al., 2008), también previene esfuerzos cortantes altos que producen daño a las células de las algas (Michels et al., 2010), como se muestra en la Figura 1.

La ventaja principal de los FBR es la gran área de exposición a la luz solar, por lo tanto, su actividad fotosintética es elevada al igual que su productividad de biomasa (Milledge y Heaven, 2013). Sin embargo, algunas desventajas son la poca transferencia de masa, altos niveles de pH y oxígeno en la mezcla y limpieza del FBR (Sánchez Mirón et al., 2000).

Por medio de este trabajo se resalta la implementación de esta tecnología a las condiciones climáticas locales, con énfasis en el efecto de agitación que se puede lograr con los diferentes perfiles utilizados en los colectores solares de los fotobiorreactores tubulares. Aunque anteriormente se han realizado estudios sobre los flujos en ductos para aplicación ingenieriles como sistemas de tuberías hidráulicas relacionadas con la corrosión (Dai & Shen, 2006) o en la dinámica de biofluidos para el flujo sanguíneo en el sistema vascular (Santamarina et al., 1998); no se han notificado estos estudios para los colectores solares de los fotobiorreactores tubulares.

MODELO MATEMÁTICO

Con el modelo de esfuerzo de Reynolds, RSM (Reynolds Stress Model) se pueden calcular las propiedades de los fluidos en cualquier punto, en un caso de flujo compresible o en el que haya transferencia de calor, además, es un prototipo detallado de turbulencia, como se señala en Alpma et al. (2005) y García et al. (2009). El RSM es usado para calcular el esfuerzo de Reynolds a partir de las ecuaciones diferenciales de transporte; la Ec. (1) representa el RSM para flujos con viscosidad constante (fluidos newtonianos) (Alpma y Long, 2005).

$$(1) \quad \frac{\partial}{\partial t} (\overline{\rho u_i' u_j'}) = -\rho \left(\overline{u_i' u_k'} \frac{\partial u_j}{\partial x_k} + \overline{u_j' u_k'} \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \right) - \frac{\partial}{\partial x_k} \left[\overline{\rho u_i' u_j' u_k'} + p (\delta_{ij} u_k' + \delta_{ik} u_j') \right] \\ + \frac{\partial}{\partial x_k} \left[\mu \frac{\partial}{\partial x_k} (\overline{u_i' u_j'}) \right] + p \left(\frac{\partial u_i'}{\partial u_j} + \frac{\partial u_j'}{\partial u_i} \right) - 2\mu \left(\frac{\partial u_i'}{\partial u_k} + \frac{\partial u_j'}{\partial u_k} \right)$$

$$(2) \quad \boxed{\frac{\partial}{\partial t} (\overline{\rho u_i' u_j'}) = -P_{ij} - D_{ij}^T + D_{ij}^L + \phi_{ij} - \epsilon_{ij}}$$

Siguiendo la Ec. (2), que utiliza la nomenclatura designada de la Ec. (1), el término a la izquierda de la ecuación representa la tasa de cambio de las componentes de velocidad, $u_i u_j$, a lo largo de las líneas de flujo; P_{ij} (stress production) es la tasa de producción de $u_i u_j$ según el cortante medio y es uno de los generadores de turbulencia. El esfuerzo cortante se concibe por la interacción del esfuerzo transversal normal y deformación cortante; DT_{ij} y DL_{ij} son los términos difusión y representa la tasa de transporte espacial del $u_i u_j$, por la acción de las fluctuaciones turbulentas, las fluctuaciones de la presión; y la difusión molecular es el termino de presión-esfuerzo que representa la redistribución de la energía cinética turbulenta disponible entre los componentes de velocidad fluctuante, finalmente, ϵ_{ij} es la

tasa de disipación de $u_i u_j$ debido a la acción viscosa molecular (Hämäläinen, 2001).

En cuanto al esfuerzo cortante, éste es proporcional al módulo de la tasa de deformación ($\dot{\gamma}$) y la viscosidad del fluido (μ), ver Ec. (3), (Wu y Shi, 2008).

$$(3) \quad \tau_{ij} = \mu \dot{\gamma}_{ij}$$

Donde la tasa de deformación $\dot{\gamma}_{ij}$ es el gradiente de velocidad del fluido en el colector característico para la velocidad de corte, (Vlaev et al., 2007), ver Ec. (4).

$$(4) \quad \dot{\gamma}_{ij} = \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}$$

Dimensiones de los colectores solares

El diámetro hidráulico y la longitud de estos conductos son los únicos factores que permanecen constantes para los diferentes perfiles, por lo que es necesario establecer las dimensiones generales de cada uno de los perfiles estudiados. Para el caso del conducto circular, el diámetro hidráulico corresponde al diámetro del perfil; pero para las otras configuraciones, el diámetro hidráulico está dado por la Ec. (5) (Aparecio y Cotta, 1990), donde se relaciona el área de la sección transversal A , con el perímetro mojado pe , del perfil del colector.

$$D_h = 4 \frac{A}{pe} \quad (5)$$

Bajo este criterio, se establecen las siguientes medidas para cada perfil, ver Figura 2:

Circular: $D = 0.0508m$

Octágono: $L = 0.0210m$

Hexágono: $L = 0.0293m$

Cuadrado: $L = 0.0508m$

Determinación de la velocidad, caída de presión y flujo secundario en los colectores solares usando el método CFD

El cambio de presión en los diferentes conductos está dado por el siguiente procedimiento:

Generación de la malla

Las ecuaciones del RSM son una representación matemática adecuada de los flujos, incluidos los turbulentos. Sin embargo, la resolución de estas ecuaciones para que se calcule el flujo turbulento requiere una discretización temporal y una malla de cálculo fina. Por esta razón, la generación de la malla es el paso inicial en las simulaciones CFD.

La cantidad de nodos en las mallas de estas geometrías oscilan entre un rango de 800.000 y 1.100.000. La malla tridimensional no estructurada utilizada para las secciones de los ductos es del tipo O-Grid. Este mallado fue realizado usando el software ICFM CFM (ANSYS 12.1), ver Figura 2. Los ductos de pared lisa considerados en este trabajo tienen un diámetro hidráulico, D_h , de 2" (0,0508 m) y una longitud, L , 100 veces mayor (5,08 m), se posicionaron en forma axial para permitir los efectos de entrada y salida.

Dinámica de Fluidos Computacional

La simulación numérica del flujo monofásico (agua) en los ductos se realizó usando un software Fluent versión 12.1.2 (Ansys Inc.). El flujo laminar se analizó bajo un estado estacionario, con formulación implícita mediante el modelo de esfuerzos de Reynolds (presión-deformación lineal), usando diferentes velocidades de entrada del fluido en todos los conductos (ver Tabla 1) y una intensidad de turbulencia del 10 %. La condición en la entrada del conducto es de velocidad y en la salida es de presión igual a DP.

La turbulencia de los fluidos en estos colectores se ve significativamente afectada por las paredes, por lo que la dependencia de la malla en este análisis también radica en que el gradiente cerca de las paredes no sea muy grande, (Salim & Cheah, 2009). Para tener éxito en la predicción del comportamiento del flujo en CFD, se enfatiza el parámetro YPLUS (Y^+), que tiende a disminuir a medida que la malla es más fina, y es la relación entre la influencia laminar y turbulenta en una celda. En este estudio, el máximo Y^+ trabajado fue 0,45 (en el perfil hexagonal) lo que, según Gerasimov (2006), lo hace favorable para el modelado en la región cercana a la pared del colector solar ya que permite prevenir la sedimentación de

las algas, lo que limitará la intensidad lumínica que requiere el cultivo (Provost et al., 2008).

Para garantizar la validez de los resultados obtenidos se deben controlar los parámetros que afectan a la resolución numérica del problema. Se puede actuar sobre el proceso iterativo definiendo los tipos de discretización, variando los factores de relajación y fijando los criterios de finalización de las iteraciones (Aparecio & Cotta, 1990).

RESULTADOS

En este estudio de caso, el principal interés es el cambio de la velocidad, la caída de la presión a lo largo del ducto y el desarrollo del flujo secundario en función de la geometría. Esto se debe a la dependencia que poseen estos factores a las pérdidas producidas por la fricción del fluido en las paredes del ducto y al esfuerzo cortante que genera el fluido sobre las algas, que puede ocasionar daño celular. En las tablas 2, 3 y 4 se muestran las velocidades máximas alcanzadas por el fluido en el ducto y la presión a la entrada de los conductos (presión máxima), respectivamente. La aceptación de los resultados obtenidos puede ser examinada a través de diversos estudios numéricos o por comparación con los datos experimentales.

Caída de presión

El cambio, o la caída de la presión, en el conducto se deben, como ya fue mencionado, a las pérdidas por fricción en las paredes. La Figura 3 representa el cambio de la presión en los cuatro diferentes perfiles, usando una velocidad de entrada de 0,4 m/s.

Al linealizar las anteriores curvas, arrojan las siguientes ecuaciones:

$$\text{Cuadrado: } \Delta P = -0.672x + 340.47 \quad (6)$$

$$\text{Circulo: } \Delta P = -0.648x + 328.14 \quad (7)$$

$$\text{Hexágono: } \Delta P = -0.705x + 357.55 \quad (8)$$

$$\text{Octágono: } \Delta P = -0.684x + 346.42 \quad (9)$$

Las pendientes de estas curvas demuestran las grandes pérdidas de presión que se presentan en el ducto hexagonal debido a la cantidad de aristas y al espacio que hay entre ellas, provocando una cavitación hidrodinámica en el cultivo que aumentaría su productividad en relación con el crecimiento celular de las microalgas (Gonzalez. y Muñoz, 2018)

Velocidad

La velocidad del flujo permite pronosticar el comportamiento del fluido en los conductos y establecer las situaciones críticas del proceso. En este estudio, el desarrollo de la velocidad se completó antes de los 0,5 m de la entrada del fluido en los ductos, lo que permite establecer las características propias del fluido; además, la máxima velocidad se presenta en el centro del ducto como se muestra en la Figura 4.

Los vectores de velocidad en el plano transversal de los ductos, despreciando los vectores axiales de velocidad, (ver Figura 5) describen el movimiento rotacional realizado por el fluido que da lugar al flujo secundario.

Flujo secundario

La resistencia causada por la fricción de las paredes de la tubería y la acción con la fuerza centrífuga combinadas produce una rotación en el movimiento del fluido conocida como flujo secundario; este movimiento es perpendicular al eje de la tubería y se interpone al movimiento axial del flujo (Belt et al., 2004; Molina Grima et al., 1999).

En la Figura 6 se muestra el flujo secundario para cada uno de los perfiles cuando la velocidad de entrada del agua es 0.4m/s. El flujo secundario está relacionado a la agitación del

fluido en el ducto debido a la rotación del flujo.

Esfuerzo cortante

Las fuerzas hidrodinámicas que se presentan en un colector del TFBR solar pueden causar altos niveles de esfuerzos cortantes que afectan las microalgas (Mazzuca et al., 2006; Sanchez et al., 2000), reduciendo su crecimiento a causa de la muerte celular. Sin embargo, para Michels et al. (2010), este movimiento de agitación en la mezcla es necesario para que las algas permanezcan en suspensión y para mejorar la distribución de luz. Así que, para optimizar el diseño del PBR, es importante conocer el máximo nivel de esfuerzo cortante que pueden soportar las microalgas.

La tolerancia al esfuerzo cortante depende específicamente de la especie de microalga; para Michels et al. (2010) la microalga *Chaetoceros muelleri* puede soportar 1,8 Pa sin presentar cambios en su proceso de crecimiento, mientras que para Mitsunashi et al. (1995) la microalga *Spirulina platensis* también cambia su comportamiento cuando es afectada por un esfuerzo cortante mayor a 0,3 Pa pero no se producen daños celulares importantes.

En la tabla 5 se encuentran los esfuerzos cortantes máximos que logra alcanzar el flujo en cada uno de los conductos. Según Hämäläinen (2001), Wu & Merchuk (2004) y Wu & Shi (2008), los esfuerzos cortantes están relacionado directamente con la viscosidad del fluido y se presentan en mayor magnitud cerca de las paredes de los ductos. En la Figura 8 se ilustra este fenómeno en los colectores cuando la velocidad de entrada es 0,4 m/s.

CONCLUSIÓN

El flujo en el colector se puede calcular usando el modelo de esfuerzos de Reynolds, dado que este método considera la turbulencia del fluido. Tanto la presión como la velocidad están

limitadas por la fricción que se genera entre el fluido y las paredes del ducto: A mayor cantidad de obstáculos, mayor es la pérdida de presión y la vorticidad del fluido, cuya agitación genera un esfuerzo cortante que afecta las células de las algas (Mazzuca et al., 2006; Michels et al., 2010; Mitsunashi et al., 1995).

Con los resultados se permite establecer un parámetro de selección de ductos para transportar fluidos, como los cultivos de microalgas, en función de los movimientos axiales y rotacionales que se requieran y el cambio de la presión entre los extremos del conducto, siendo el perfil hexagonal el caso más crítico entre los ductos debido a la vorticidad que se produce por las esquinas del perfil. Este suceso es contrario a lo que sucede con el ducto circular, pues la fricción del fluido es mínima en las paredes.

Los valores arrojados por las simulaciones (ver Figura 6) demuestran que el perfil hexagonal es el que mejor comportamiento muestra en cuanto a flujo secundario y, por tanto, favorece la agitación del cultivo dentro del colector mejorando la actividad fotosintética (Gonzales y Muñoz, 2018). También se puede demostrar que los valores de esfuerzos cortantes, para los diferentes perfiles del colector (ver Tabla 5), son inferiores a los valores críticos que causan daños celulares en las microalgas (Mazzuca et al., 2006; Michels et al., 2010; Mitsunashi et al., 1995; Vlaev et al., 2007); sin embargo, para controlar la tasa de crecimiento de las microalgas sugerida en la literatura, se debe trabajar con velocidades de entrada inferiores a 0,3 m/s en el perfil hexagonal, teniendo en cuenta que este valor es dependiente de la especie de microalga utilizada.

Lamentablemente, la problemática que genera la fabricación de un colector solar en forma serpentin, como se ve en la Figura 1, y con

perfil hexagonal es importante. Además, se debe limpiar periódicamente el colector para evitar que se dé una sedimentación del cultivo en las paredes del colector; este proceso en un colector de perfil hexagonal puede llegar a ser complejo debido a la dificultad en acceder a las aristas.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección de Investigaciones de la Universidad Autónoma de Occidente por la financiación del proyecto "Diseño de un prototipo de fotobiorreactor para la producción de biomasa a partir de algas como fuente de energía más limpia, en el departamento del Valle del Cauca.", aprobado con la resolución de rectoría No 6263.

LITERATURA CITADA

- Alpma, E. & Long, L.N. (2005). Separated turbulent flow simulations using a Reynolds stress model and unstructured meshes. *In Processing of the 43rd Aerospace Sciences Meeting & Exhibit (AIAA)*, Reno, USA, p. 1-14.
- Aparecido, J.B. & Cotta R.M. (1990). Laminar flow inside hexagonal ducts. *Computational Mechanics* 6, pp. 93-100.
- Belt, R.J., Van't Westende, J.M.C., Portela, L.M., Mudde R.F. & Oliemans, R.V.A. (2004). Particle-driven secondary flow in turbulent horizontal pipe flows. *In Processing of the 3rd International symposium on two-phase flow modeling and experimentation*. Pisa, Italia.
- Camacho Rubio, F., Acién Fernández, F.G., Sánchez Pérez, J.A., García Camacho, F. & Molina Grima, E. (1999). Prediction of dissolved oxygen and carbon dioxide concentration profiles in tubular photobioreactors for microalgal culture. *Biotechnology and Bioengineering* 5(1), 71-86.
- Chen, W.-y., Jiang, N., An, Y.-r., & Yuan, Q.-h. (2009). Study on numerical simulation of single-phase injection device flow field. *In Processing of the Second International Conference on Information and Computing Science, (ICIC)*. Manchester, Inglaterra, p. 358-361.
- Dai, Z. & Shen, S. (2006). Effect of hydrodynamic factors on erosion-corrosion destroy and structure optimization of high pressure air cooler tubes. *Journal of Pressure Equipment and Systems*, 4: 37-41.
- Eriksen, N.T. (2008). The technology of microalgal culturing. *Biotechnol Lett* 30, 1525-1536.
- García, F. & Haoulo, M. (2009). Estudio experimental de patrones de flujo bifásico aire-agua en tuberías horizontales y ligeramente inclinadas. *Información Tecnológica* 20 (3), 3-12.
- García Camacho, F., Contreras Gómez, A., Acién Fernández, F.G., Fernández Sevilla, J. & Molina Grima, E. (1999). Use of concentric-tube airlift photobioreactors for microalgal outdoor mass cultures. *Enzyme and microbial technology* 24, 164-172.
- Gerasimov, A. (2006) Modelling turbulent flows with FLUENT. *Europa : ANSYS, Inc.*
- Gonzalez Fernandez, C. y Muñoz, R (2018). Microalgae-Based Biofuels and Bioproducts: From Feedstock Cultivation to End-products. Woodhead Publishing. 560.
- Hämäläinen, V. (2001). Implementing an explicit algebraic Reynolds stress model into the three-dimensional FINFLO flow solver. Helsinki University of technology, *Laboratory of aerodynamics, Report No. B-52, Series B.*
- Kim, Se-Kwon (2015). Handbook of Marine Microalgae: *Biotechnology advances*. Academic Press
- Leeuwener, M.J. & Eksteen J.J. (2008). Computational fluid dynamic modeling of two phase flow in a hydrocyclone. *The journal of the southern African institute of mining and metallurgy* 106, 231-236
- Mazzuca Sobczuk, T., Garcia Camacho, F., Molina Grima, E. & Chisti, Y. (2006). Effects of agitation on the microalgae *Phaeodactylum tricornutum* and *Porphyridium cruentum*. *Bioprocess Biosyst Eng* 28, 243-250.
- Michels, M., van der Goot, J.A., Norsker, N.H., Wijffels, R.H. (2010). Effects of shear stress on the microalgae *Chaetoceros muelleri*. *Bioprocess Biosyst Eng* 33, 921-927.
- Milledge, J. J., Heaven, S. (2013). A review of the harvesting of micro-algae for biofuel production. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 12(2), 165-178.
- Mitsubishi, S., Hosaka, K., Tomonaga, E., Muramatsu, H. & Tanishita, K. (1995). Effects of shear flow on photosynthesis in a dilute suspension of microalgae. *Appl Microbiol Biotechnol* 42, 744-749.

- Molina Grima, E., Acien Fernández, F.G., García Camacho, F. & Chisti, Y. (1999). Photobioreactors: light regime, mass transfer, and scaleup. *Journal of Biotechnology* 70, 231-247.
- Perner-Nochta, I., & Posten, C. (2007). Simulations of light intensity variation in photobioreactors. *Journal of Biotechnology* 131, 276-285.
- Pruvost, J., Cornet, J.-F. & Legrand, J. (2008). Hydrodynamics influence on light conversion in photobioreactors: An energetically consistent analysis. *Chemical Engineering Science* 63, 3679-3694.
- Ramírez 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* 8 (2), 127 - 140.
- Sánchez Mirón, A., García Camacho, F., Contreras Gómez, A., Molina Grima, E. & Chisti, Y. (2000). Bubble-column and airlift photobioreactors for algal culture. *AIChE Journal* 46 (9), 1872-1887.
- Salim, S.M. & Cheah, S.C. (2009). Wall Y+ strategy for dealing with wall-bounded turbulent flows. In *Processing of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMECS)*, Hong Kong, China.
- Santamarina, A., Weydahl, E., Siegel, J.M. & Moore, J.E. (1998) Computational analysis of flow in a curved tube model of the coronary arteries: effects of time-varying curvature. *Annals of Bio-medical Engineering*, 26: 944-954
- Ugwu, C.U., Ogbonna, J.C. & Tanaka, H. (2005). Characterization of light utilization and biomass yields of *Chlorella sorokiniana* in inclined outdoor tubular photobioreactors equipped with static mixers. *Process Biochemistry* 40, 3406-3411.
- Ugwu, C.U., Aoyagi, H., Uchiyama, H. (2008). Review: Photobioreactors for mass cultivations of algae. *Process Biochemistry* 99, 4021-4028.
- Vlaev, S., Georgiev, D., Nikon, I. & Elqotbi, M. (2007). The CFD approach for shear analysis of mixing reactor: verification and examples of use. *Journal of Engineering Science and Technology* 20 (2), 177-187.
- Wu, X. & Merchuk, J.C. (2004). Simulation of algae growth in a bench scale internal loop airlift reactor. *Chemical Engineering Science* 59, 2899-2912.
- Wu, Z.Y. & Shi, X.M. (2008) Rheological properties of *Chlorella pyrenoidosa* culture grown heterotrophically in a fermentor. *J Appl Phycol* 20, 279-282.
- Yue, P., Dooley, J. & Feng, J.J. (2008). A general criterion for viscoelastic secondary flow in pipes of noncircular cross section. *Journal Rheol.* 52 (1), 315-332.

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.

CÓMO CITAR

Volumen 10 (2), año 2019

ÁREA AGRÍCOLA

Rivera Gallegos, P., & Yate Segura, A. (2019). Uso de eisenia foetida (oligoquetos: lumbricidae) para la producción de bioabono, Bogotá – Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(2). doi:<https://doi.org/10.22490/21456453.2334>

Báez Hernández, A., Hernández Medina, C., & Carrasco Fuentes, M. (2019). Roles de la Educación Superior en el desarrollo agropecuario local. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(2). doi:<https://doi.org/10.22490/21456453.2728>

García Arboleda, M., & Barrera Marín, N. (2019). Diversidad de Artrópodos en tres sistemas de manejo agronómico de café en el Municipio de Líbano – Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(2). doi:<https://doi.org/10.22490/21456453.2725>

Pinzón Sandoval, E., Munevar García, O., Cruz Ruiz, E., & Torres Hernández, D. (2019). Efecto de una fuente alterna de fosforo en la producción de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) bajo condiciones de campo. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(2). doi:<https://doi.org/10.22490/21456453.2545>

Gutiérrez A., D., Ortega G, M., Henao V, C., Torres V, C., & Sánchez G, J. (2019). Modelo para la construcción colectiva de conocimiento para la ruralidad. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(2). doi:<https://doi.org/10.22490/21456453.2784>

ÁREA PECUARIA

Chavez-Fontecha, E., Ortega Torres, M., & Torres Romero, J. (2019). Comportamiento de forrajeo en nutrias gigantes (*Pteronura brasiliensis*)

estudio de caso en Santa Rosa de Sapuara, departamento de Guainía, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(2). doi:<https://doi.org/10.22490/21456453.2749>

Cuervo Vivas, W., Santacoloma Varón, L., & Barreto de Escovar, L. (2019). Análisis histórico de la composición química de forrajes tropicales en Colombia entre 1985 – 2015. I - Gramíneas Forrajeras. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(2). doi:<https://doi.org/10.22490/21456453.2415>

ÁREA AMBIENTAL

Estrada-Martínez, A., Ortega-Ruiz, J., Urango Cárdenas, I., Enamorado-Montes, G., & Marrugo-Negrete, J. (2019). Fotocatálisis heterogénea para el tratamiento de aguas residuales generadas en el baño del ganado. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(2). doi:<https://doi.org/10.22490/21456453.2683>

Franco Ortiz, M., & Moreno Gutiérrez, J. (2019). Análisis del relacionamiento de los grupos humanos con el bosque desde los principios de Ostrom. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(2). doi:<https://doi.org/10.22490/21456453.2678>

Rodríguez Andrade, J. & Ibarra Vega, D. (2019). Modelo para la evaluación dinámica de la gestión de residuos ordinarios de la ciudad de Bogotá y su influencia en el índice de calidad ambiental urbana. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(2). doi:<https://doi.org/>

Ramírez Duque, J.L. & Ramos Lucumi, M.A. (2019). Influencia del tipo de sección transversal en la hidrodinámica de los colectores solares de los fotobiorreactores tubulares. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(2). doi:<https://doi.org/>

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:

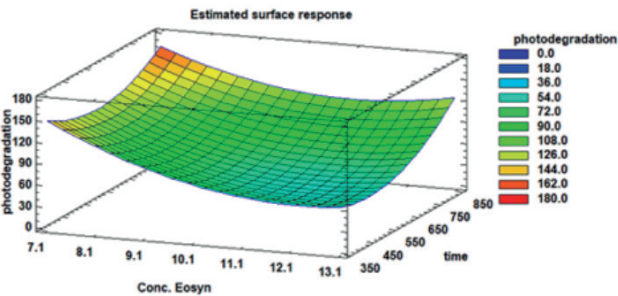


Figura 1. Título de la figura. Leyenda de la figura, el tipo de letra verdana tamaño 9.

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.

