



REVISTA DE INVESTIGACIÓN AGRARIA Y AMBIENTAL

Volumen 11 Número 2 – (Julio - Diciembre de 2020)

e-ISSN 2145-6453

ISSN 2145-6097



Revista de Investigación Agraria y Ambiental

Volumen 11 Número 2 – (julio - diciembre de 2020) – e-ISSN 2145-6453

CUERPO DIRECTIVO

JAIME ALBERTO LEAL AFANADOR
Rector UNAD

CONSTANZA ABADÍA GARCÍA
Vicerrector Académica y de Investigación

EDGAR GUILLERMO RODRÍGUEZ
Vicerrector de Servicios a Aspirantes, Estudiantes y Egresados

LEONARDO YUNDA PERLAZA
Vicerrector de Medios y Mediaciones Pedagógicas

JULIA ALBA ANGEL OSORIO
Vicerrector de Desarrollo Regional y Proyección Comunitaria

LEONARDO EVEMELETH SANCHEZ TORRES
Vicerrector de Relaciones Internacionales

JORDANO SALAMANCA BASTIDAS
Decano Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

JUAN SEBASTIÁN CHIRIVÍ SALOMÓN
Líder Nacional de Investigación

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

EQUIPO EDITORIAL

GERARDO OJEDA
Director Editor

MARGARITA ROSA BONILLA OSPINA
Co-editora

COMITÉ EDITORIAL

JORDI SARDANS
Investigador – Unidad de Ecología Global CREA-FCIC Universitat Autònoma de Barcelona, España.

EDMUND PERFECT
Department of Earth and Planetary Sciences.
University of Tennessee, Knoxville, Estados Unidos.

JÖRG BACHMANN
Institut für Bodenkunde.
Leibniz Universität Hannover, Alemania.

ABÍLIO SOBRAL
Centro de Química.
Universidade de Coimbra, Portugal.

ELISABETE FIGUEIREDO
Departamento de Ciências Sociais, Políticas e do Território.
Universidade de Aveiro, Portugal.

XAVIER DOMENE
Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals - CREAF.
Universitat Autònoma de Barcelona, España.

COMITÉ CIENTÍFICO

FILIPA BESSA
Centro de Ciências do Mar e do Ambiente - MARE.
Universidade de Coimbra, Portugal.

MARCELO GANDINI
Facultad de Agronomía.
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

HENRY ZÚÑIGA BENÍTEZ
Departamento de Ingeniería Química.
Universidad de Antioquia, Colombia.

CARLOS ABANTO RODRÍGUEZ
Manejo integral del bosque y servicios ecosistémicos.
Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, Perú.

SUSANA RODRÍGUEZ BURITICÁ
Ecología Espacial.
Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Colombia.

ROLANDO TITO BACCA IBARRA
Departamento de Sanidad Vegetal.
Universidad del Tolima, Colombia.

FERNANDO FERNÁNDEZ MÉNDEZ
Facultad de Ingeniería Forestal.
Universidad del Tolima, Colombia.

JESÚS VARGAS HERNÁNDEZ
Departamento de Ciencias Forestales.
Colegio de Posgraduados, México.

EDGAR JOSÉ JAIMES CÁRDENAS
Facultad de Agronomía.
Universidad de Los Andes, Venezuela.

MARTÍN ORLANDO PULIDO MEDELLÍN
Departamento de Medicina Veterinaria y Zootecnia.
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia.

Corrector de estilo
Adrian Grijalba Rativa

Diseño y diagramación
Hernán Vásquez Giraldo
Zonacreativacolombia@hotmail.com

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 **Publiindex**, 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.



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.



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.

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.

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.



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



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



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

REVISORES ACADÉMICOS

Volumen 11 Número 2, año 2020.

La Revista de Investigación Agraria y Ambiental – RIAA, reconoce a los revisores su tiempo y esfuerzo para evaluar los trabajos que se someten a esta revista. Gracias por su destacada colaboración y sus valiosas aportaciones.

Andrés Posso Terranova, University of Saskatchewan, Canadá.

Camila Pizano Gómez, Universidad ICESI, Colombia

Carlos Abanto Rodríguez, Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, Perú

Dixon Fabian Flórez, Universidad de Pamplona, Colombia

Edgar José Jaimes, Universidad de Los Andes, Venezuela

Enrique David Enríquez, Universidad Autónoma de Zacatecas, México

Fernando Fernández Méndez, Universidad del Tolima, Colombia

Franco Orlando Garzón, Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA, Colombia

Fred Alberto Moreno, Universidad de Caldas, Colombia

Gabino García de los Santos, Colegio de Postgraduados, México

Gloria Acened Puentes, Universidad Pedagógica y Tecnológica De Colombia, Colombia

Gloria Doria Herrera, Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, Colombia

Guillermo Duque Nivia, Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Henry Zúñiga Benítez, Universidad de Antioquia, Colombia

Inés Restrepo Tarquino, Universidad del Valle, Colombia

Ingrith Marcela Romero, Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO, Colombia

Ingrý Natalia Gómez, Universidad de Antioquia, Colombia

James Frank Trujillo, Institución Universitaria Antonio José Camacho, Colombia

Jesús Vargas Hernández, Colegio de Postgraduados, México

Johanna Santamaría Vanegas, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia

Jorge Rubiano Mejía, Universidad del Valle, Colombia

José Edwin Mojica, AGROSAVIA – Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Colombia

José Javier Toro, Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Josep Maria Alcañiz, Universidad Autónoma de Barcelona, España

Luis Felipe Granada, Universidad Libre de Colombia, Colombia

Luz Dary Castellanos, Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, Colombia

Manuel Galvis Rueda, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia

Marcelo Gandini, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina

Margarita María Sarria, Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Myriam del Carmen Salazar, Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Nubia Zoraida Plazas, Fundación Universitaria Juan de Castellanos, Colombia

Olga Lucia Rosero, Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Oscar Eduardo Sanclemente, Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, Colombia

Stefania Mattana, Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals – CREA, España

Susana Rodríguez Buriticá, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Colombia

Yesenia Campo Vera, Instituto Superior de Educación Rural – ISER, Colombia

Yuli Alexandra Deaquiz, Fundación Universitaria Juan de Castellanos, Colombia

ÍNDICE

Editorial

Director Editorial – Editor in chief: Gerardo Ojeda

Coeditora - Coeditor: Margarita Bonilla

11

Área Agrícola

1. Efecto del abono orgánico líquido mineralizado en la producción y composición de forrajes para pastoreo

Effect of the mineralized liquid organic fertilizer in the production and composition of grazing forage

Robinson Felipe Guzmán-Sánchez, Jeferson Andrés Beltrán-Perafán, Consuelo Montes-Rojas, María del Socorro Anaya-Florez

13

2. Análisis de variables productivas y socioempresariales de productores de aguacate hass de dos municipios del Cauca para la creación de indicadores para la toma de decisiones del sector rural

Analysis of productive and socio-business variables of avocado hass producers in two municipalities of Cauca for the creation for the creation of decision-making indicators in the rural sector

Héctor Fabio López Castaño, Jéssica Almeida Braga, Max Brandão de Oliveira

29

3. Determinación de nitrógeno foliar en palma de aceite con espectroscopía en el infrarrojo medio (MIR) y cercano (NIR) por el método de regresión de mínimos cuadrados parciales de componentes principales (PLS)

Determination of foliar nitrogen in palm of oil with spectroscopy in the middle infrared (MIR) and near (NIR) by the regression method of minimal partial squares of main components (PLS).

Jhoan Jose Crespo Gonzalez, Orlando Simón Ruiz Villadiego, Karen Stefanie Ospino Villalba

43

4. Elaboración y validación de instrumento para medir prácticas sustentables que crean valor en organizaciones agrícolas

Construction and validation of a questionnaire to measure sustainable practices that create value in agricultural organizations

Rosa Elena De Anda-Montaño, Raúl Portillo-Molina, Myrna Delfina López-Noriega, María de los Angeles Cervantes-Rosas

59

Área Pecuaria

. Efecto de la suplementación con ensilaje de naranja sobre la composición de la leche bovina

Effect of orange silage supplementation on bovine milk composition

Dixon Fabián Flórez Delgado, Alfonso Eugenio Capacho Mogollón, Sandra Milena Quintero Muiño, Pavlova Báez Gamboa

71

Área Ambiental

<p>. Los servicios ecosistémicos desde la percepción de los productores de café de Belén de Umbría, Risaralda, Colombia</p> <p><i>Services ecosystems: perceptions from the coffee producers in Belén de Umbría, Risaralda, Colombia</i></p> <p>Ángela María Arango, Miguel Ángel Dossman, Juliana Muñoz, Liliana Bueno, Jhon Jairo Arias, Juan Carlos Camargo, Juan Martín Maya</p>	81
<p>7. Evaluación de eficiencia del sistema domiciliario para abastecimiento de agua segura, corregimiento San Fernando, Nariño</p> <p><i>Efficiency evaluation of the domiciliary system for safe water supply, San Fernando district.</i></p> <p>Álvaro Javier Ceballos Freire</p>	95
<p>8. Vulnerabilidad de fuentes hídricas superficiales de la cuenca del río cerrito a la contaminación difusa agrícola</p> <p><i>Vulnerability of surface water sources of the cerrito river basin to the agricultural diffuse pollution</i></p> <p>Andrés Echeverri Sánchez, Norberto Urrutia Cobo, Sandra Milena Barona Ramírez</p>	117
<p>9. Diversidad y composición de plantas vasculares en humedales del páramo Rabanal, Boyacá- Colombia</p> <p><i>Diversity and composition of vascular plants in wetlands of the paramo Rabanal, Boyacá- Colombia.</i></p> <p>Magda-Juliana Cuello-Salinas, Manuel Galvis-Rueda</p>	131
<p>10. Elaboración de un modelo neuronal artificial para la estimación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas marinas</p> <p><i>Development of an artificial neural network model for estimation of bod in seawaters</i></p> <p>Reynaldo José Meza Castellar, Luis Octavio González Salcedo</p>	147
<p>11. Procedimiento guía para manejo seguro de sustancias químicas en una empresa de fabricación de suelas y plantillas a base de poliuretano de la ciudad de Cali - Colombia</p> <p><i>Procedure guide for the safe handling of chemicals in a sole and insole manufacturing company a polyurethane base from the city of Cali - Colombia</i></p> <p>Luis Alberto Vallejo Morán, Johanna Dominguez Orejuela, Iván Darío López Villalobos, Claudia Asceneth Castañeda Sanchez</p>	157
<p>12. Estimación de flujos difusivos de CO₂ en embalses tropicales mediante el uso conjunto de la teledetección, la modelación de concentraciones superficiales del gas y K600</p> <p><i>CO₂ diffusive flux estimation for tropical reservoirs from conjoint utilization of remote sensing, superficial gas concentrations and k600 modelling</i></p> <p>Juan G. León, Mariam Rojas</p>	179
<p>Como citar - <i>How to cite</i></p>	197
<p>Instrucciones para los Autores</p>	198

EDITORIAL

Estimados lectores

Sin duda, la presente edición está marcada indirectamente por la pandemia del COVID-19. Durante el transcurso del proceso editorial de los artículos del presente número, tuvimos innumerables inconvenientes, en los últimos meses. Sin embargo, salimos adelante gracias a la contribución de nuestros autores, la experticia de nuestros revisores y la ayuda sin restricciones de la Universidad Abierta y a Distancia – UNAD, en especial del señor Decano Jordano Salamanca, la líder de Investigación, Yolvi Prada, los colaboradores del Sello Editorial y la Co-Editora de la revista, Margarita Rosa Bonilla.

Ofrecemos aquí un volumen con artículos de las áreas agrícola, pecuaria y ambiental. En el caso del área agrícola, presentamos artículos relacionados con el uso de enmiendas orgánicas en suelos, las actividades de productores agrícolas, su sustentabilidad y el uso de métodos avanzados para el análisis del nitrógeno. En el área pecuaria, presentamos un estudio sobre la composición de la leche con respecto al ensilaje. Finalmente, en el área ambiental, presentamos trabajos relacionados con la calidad, contaminación y actividad microbiana en el agua, la diversidad de plantas en páramos y el manejo seguro de sustancias químicas. Esperamos que todos los artículos del número sean de gran interés para los lectores.

Agradecemos a todos los profesionales que contribuyeron con este número en la revisión, corrección de estilo, diagramación, publicación e impresión. Aún bajo condiciones de cuarentena, con las preocupaciones propias sobre el futuro más inmediato, todos aportaron en gran manera para obtener este volumen. Deseamos para todos que los días por venir sean mejores y que juntos logremos salir adelante, sin olvidar las lecciones aprendidas en estos meses de confinamiento.

Saludos cordiales,

Gerardo Ojeda
Editor en jefe – Editor in chief

Margarita Bonilla
Co-editora – Co-editor

EFFECTO DEL ABONO ORGÁNICO LÍQUIDO MINERALIZADO EN LA PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE FORRAJES PARA PASTOREO

EFFECT OF THE MINERALIZED LIQUID ORGANIC FERTILIZER IN THE PRODUCTION AND COMPOSITION OF GRAZING FORAGE

¹Robinson Felipe Guzmán-Sánchez, ²Jeferson Andrés Beltrán-Perafán,
³Consuelo Montes-Rojas, ⁴Maria del Socorro Anaya-Florez

¹Ingeniero Agropecuario, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.

²Ingeniero Agropecuario, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.

³Master en ciencias, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.

⁴Especialista, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Popayán, Colombia.

¹rguzman@unicauca.edu.co; ²jabeltran@unicauca.edu.co,

³cmontesr@unicauca.edu.co; ⁴manaya@misena.edu.co

RESUMEN

Contextualización: la producción ganadera en Colombia se desarrolla en gran parte del país y tiene una participación del 53% en el producto interno bruto pecuario, es considerada un renglón socioeconómico de importancia para el progreso del campo. Ocupa una fracción significativa del uso de suelo, donde la mayor parte está destinada a pastos y forrajes para la ganadería bovina. Esta actividad se desarrolla en grandes extensiones y el aumento de la productividad depende del manejo eficiente de los forrajes y de la introducción de especies forrajeras mejoradas que oferten mejor cantidad y calidad alimenticia.

Vacío de conocimiento: un problema serio en el manejo de forrajes son los altos costos de producción de los fertilizantes de síntesis

química y la falta de aprovechamiento por parte de los ganaderos de alternativas orgánicas de fertilización.

Propósito del estudio: teniendo en cuenta que son pocos los ganaderos que consideran el pasto como un cultivo, que responde a prácticas agronómicas apropiadas, esta investigación tuvo como propósito evaluar la respuesta a la fertilización con abono líquido orgánico fermentado aeróbicamente (ALOFA) en las variables altura, cobertura, vigor, producción de biomasa y composición nutricional de dos especies forrajeras de interés para la ganadería (*Cynodon nlemfuensis* y *Brachiaria brizantha* cv. Toledo) comparando con biofertilizante comercial y fertilización tradicional.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.3065>

Metodología: se utilizó un diseño de bloques completos al azar (BCA) con tres repeticiones. Se hicieron aplicaciones con intervalos de 10 días según las dosis establecidas por tratamiento. Se realizaron tres evaluaciones cada 40 días y las variables de respuesta fueron altura, cobertura, vigor, infestación de plagas, incidencia de enfermedades, producción de materia seca y calidad nutricional.

Resultados y conclusiones: ALOFA al 2,5% presentó el mejor comportamiento en producción de materia seca con *C. nlemfuensis*, superando en 17,55% al testigo; en *B. brizantha cv. Toledo* ALOFA al 2,5% + Inoculante micorrizico (IM) y BP-150 al 0,5% + IM superaron en 35% al testigo, lo cual permite aumentar la carga animal en 0,4 y 1,82 UGG/ha en ambas especies. El mayor porcentaje de MS se obtuvo con el tratamiento T4 y teniendo en cuenta que en contenido de proteína no hay diferencias entre tratamientos, se concluye estos tratamientos no inciden en la calidad nutricional de los forrajes.

Palabras clave: Biofertilizante; Carga ganadera; Forraje; Medioambiente; Pastoreo.

ABSTRACT

Contextualization: Livestock production in Colombia is developed in a large part of the national territory, with a 53% share of livestock gross domestic product. It is considered an important socioeconomic line for the field progress. It occupies a significant fraction of land use, destined predominantly to pasture and forage for cattle. This activity is carried out in large areas and increases in productivity depends on the efficient management of forages and the introduction of improved forage species able to offer better quantity and quality of food.

Knowledge gap: A serious problem in forage management is the high production costs of

fertilizers chemically synthesized and the fact that farmers do not take advantage of organic fertilization alternatives.

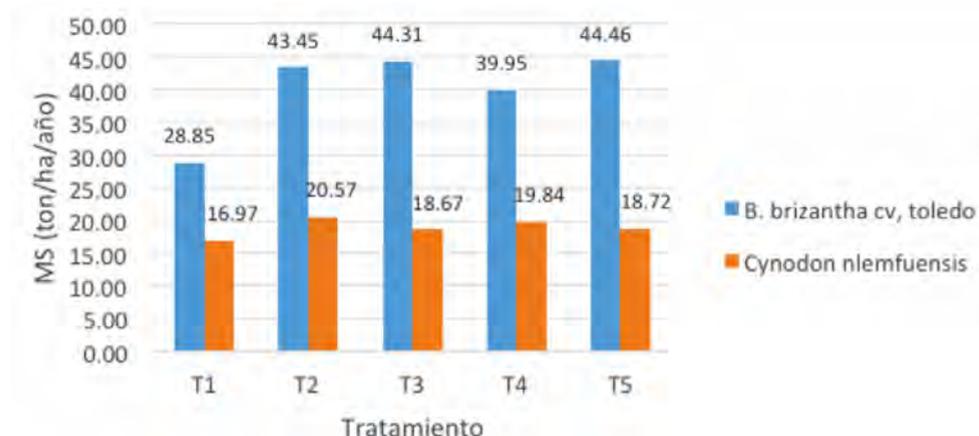
Purpose: Taking into account that few farmers consider grass as a crop, in agree with appropriate agronomic practices, this research aimed to evaluate the response of two interesting forage species for livestock (*Cynodon nlemfuensis* and *Brachiaria brizantha cv. Toledo*) to fertilization with aerobic fermented organic liquid fertilizer (ALOFA), with respect to different variables (height, coverage, vigor, biomass production and nutritional composition) in order to compare this commercial biofertilizer with traditional fertilization.

Methodology: A complete randomized block design (BCA) with three replications was used. Applications were made with intervals of 10 days according to the doses established by treatment. Three evaluations were carried out every 40 days and the response variables were height, coverage, vigor, infestation of pests, incidence of diseases, production of dry matter and nutritional quality.

Results and conclusions: ALOFA at 2.5% showed the best performance in dry matter (DM) production with *C. nlemfuensis*, exceeding the control by 17.55%; *B. brizantha cv. Toledo* ALOFA 2.5% + Mycorrhizal Inoculant (IM) and BP-150 0.5% + IM treatments exceeded the control by 35%, which allows increasing the animal load by 0.4 and 1.82 UGG / ha in both crop species. The highest percentage of DM was obtained with T4 treatment and taking into account that in terms of protein content there are no differences between treatments, it is concluded that these treatments do not affect the nutritional quality of the forages.

KEYWORDS: Environment; Forage; Grazing; Livestock density; Organic fertilizers.

RESUMEN GRÁFICO



Resultados en producción de materia seca de los forrajes como respuesta a los tratamientos.

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia, la producción ganadera se desarrolla en gran parte del país con participación del 53% en el producto interno bruto (PIB) pecuario, 20% en el agropecuario y 1,6% del nacional; por eso, se considera un renglón de importancia para el progreso del campo. Además, ocupa una fracción significativa del uso de suelo (80% del total), y la mayor parte (60,2%) está destinada a pastos y forrajes para la ganadería bovina (Carulla y Ortega, 2016).

La ganadería se desarrolla en grandes extensiones, que han sido deforestadas para establecer pasturas dedicadas a la producción bovina, generando daños importantes en zonas boscosas (Mora M., et al., 2016). Esta reducción ha sido un factor desencadenante de deterioro ambiental, evidenciando la pérdida de biodiversidad, la compactación y erosión de suelos, la ruptura del balance hídrico en las cuencas y el incremento de las emisiones de gases que contribuyen al calentamiento global (Ministerio del medio ambiente y los recursos naturales, 2016). El problema se ha visto exacerbado porque más del 50% de las áreas de pasturas se encuentran hoy en

elevado estado de degradación (Álvarez y Cruz, 2017), poniendo en riesgo la sostenibilidad de los hatos ganaderos a causa de la baja disponibilidad forrajera para la alimentación animal.

El aumento de la productividad en los sistemas ganaderos consiste en el manejo eficiente de fuentes de alimentación existentes en las regiones, así como la introducción de especies forrajeras mejoradas que oferten mejor cantidad y calidad alimenticia, teniendo un enfoque sostenible en el manejo de estos sistemas (Herrero et al., 2015). Asimismo, los planes de mejoramiento en forrajes centran sus esfuerzos en identificar especies eficientes en producción y acordes a las condiciones de cada región; además, imparten información precisa sobre las prácticas por realizar, teniendo como eje fundamental los requerimientos nutricionales de cada especie y, de este modo, instaurar planes de fertilización acertados y confiables en la producción ganadera, en los que no solo se generen buenas producciones de biomasa, sino que lleven consigo un componente de manejo ambiental sostenible (Arango et al., 2016).

Para el sostenimiento de la pastura, se deben hacer fertilizaciones para evitar bajas en la productividad y calidad de los forrajes (Torres et al., 2016). En la actualidad, los abonos orgánicos son una fuente para el suministro de nutrientes a los forrajes, y cubren parte importante de los requerimientos nutricionales de las plantas, haciéndolos disponibles a corto o largo plazo y disminuyendo costos de producción (Garro, 2016).

El uso de abonos orgánicos puede aumentar y mantener los niveles de producción forrajera porque, además de ser una fuente de nitrógeno fósforo y azufre, estos tienen influencia sobre algunas propiedades del suelo como la estructura, porosidad, retención de agua, población de microorganismos y fijación de fósforo. Al mismo tiempo, disminuye notablemente los costos de producción puesto que gran parte de los insumos internos de la finca se aprovecha para su elaboración, creando sinergias funcionales capaces de mejorar el contexto productivo (López et al., 2015).

Actualmente, los biofertilizantes son una alternativa viable para el mantenimiento de las pasturas; presentan ventajas como el aumento de la fertilidad y biodiversidad del suelo, dando un manejo holístico de la producción que promueve y mejora la salud del ecosistema, y minimizando la utilización de insumos externos en la unidad productiva (Altieri & Nicholls, 2017). Por su parte, los Biofertilizantes de aplicación foliar ayudan al mantenimiento del cultivo aportando nutrientes esenciales para el metabolismo, gracias a la rápida asimilación por parte de la planta, lo que permite combatir de manera efectiva las deficiencias nutricionales que pueda presentar el cultivo (Restrepo et al., 2017).

Por lo anterior, esta investigación se propuso evaluar una alternativa para la fertilización de

pasturas, aprovechando los recursos de la finca y cuyo costo es muy bajo comparado con los de síntesis química. El objetivo fue evaluar el efecto de un abono líquido orgánico mineralizado fermentado aeróbicamente (ALOFA), en las variables de respuesta altura, cobertura, vigor y producción de biomasa dos especies forrajeras de importancia, para ofrecer a los productores ganaderos una alternativa económica, confiable y ambientalmente amigable de nutrición a sus praderas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la vereda Florencia, municipio de Totoró departamento del Cauca a 2°32'58,2" latitud norte, 76°34'26,1" longitud oeste, a 1720 m.s.n.m, con precipitación promedio anual de 2.000 mm, temperatura promedio de 18°C y humedad relativa del 73%.

Descripción del Abono Orgánico Líquido Mineralizado (ALOFA): es un abono líquido orgánico fermentado aeróbicamente que cuenta con una fuente de microorganismos, macro y micronutrientes que estimulan la productividad de las plantas, potencializando las prácticas de fertilización convencionales de manera económica y amigable con el medio ambiente.

Las materias primas y cantidades utilizadas para la elaboración de 20 litros de ALOFA se describen a continuación: *Thitonia diversifolia* y *Boehmeria sp* (5 kg); ácidos húmicos y fúlvicos (100 ml); (100 g de cada uno de los siguientes Sulfatos, cobre, zinc, magnesio, manganeso, potasio, calcio hierro, (100 g) de ácido bórico, (1 kg) de miel de purga, (500 g) de Fosforita Huila, (50 g) de levadura seca, (30 g) de vitaminas) y (5 g) de ácido cítrico.

Proceso de investigación: para la investigación se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones y 5 tratamientos. Los

tratamientos fueron: T1=testigo, manejo tradicional, el cual consiste en aplicar 100 kg/ha al voleo cada 3 meses de 21-0-0+11(CaO)+7,5 (MgO) granulado comercial; T2 = ALOFA en dosis de 10 L/ha cada 10 días postpastoreo; T3 ALOFA en dosis de 10 L/ha + Inoculante micorrizicos (IM) , en dosis de 1,6 kg/ha, combinada con 600 cc/ha decoadyuvante cada 10 días postpastoreo; T4= fertilizante orgánico mineral líquido, en dosis de 2 L/ha (dosis recomendada por la casa comercial) cada 10 días postpastoreo y T5 = fertilizante orgánico mineral líquido, en dosis de 2 L/ha +1,6 kg/ha de IM más 600 cc/ha de coadyuvante cada 10 días postpastoreo.

Distribución de tratamientos de campo: la evaluación con pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*.) se realizó en un área de 850 m², la cual se dividió en 3 bloques iguales: bloque 1, parte alta; bloque 2, parte media y bloque 3, parte baja, por gradiente de fertilidad. Los 5 tratamientos se distribuyeron al azar en cada bloque.

Para *Brachiaria brizantha cv Toledo*, la evaluación se realizó en toda el área sembrada con la especie en la finca, en total se utilizó un área de 437 m², que se dividió en 3 partes iguales para conformar los bloques, en cada bloque se distribuyeron al azar los 5 tratamientos.

Aplicación de los tratamientos: el ALOFA y el fertilizante orgánico mineral líquido se aplicaron vía foliar y el IM se aplicó una sola vez inyectado al suelo.

Para dar inicio a la investigación se realizó un pastoreo de un día, 10 días después se hizo la fertilización acorde a los tratamientos, con el objeto de que la planta dispusiera de rebrotes para la absorción del sustrato; este proceso se realizó durante tres ciclos de pastoreo. Se realizaron tres aplicaciones postpastoreo cada

10 días, de acuerdo a los tratamientos, en las primeras horas del día, buscando menor evaporación en la planta, lo que es una condición necesaria para la eficacia de la fertilización.

Teniendo en cuenta que el lote de pasto estrella estaba en etapa de establecimiento, fue necesario aumentar en 20 días el periodo de recuperación hasta la primera evaluación, razón por la cual se realizaron cuatro aplicaciones antes de la primera evaluación, con un intervalo de 12 días entre cada aplicación.

El análisis de suelo muestra una pradera con pH ácido (5.45), adecuado para el desarrollo de las gramíneas investigadas; alto contenido de materia orgánica (10,37%), presentando una relación Ca-Mg de 5.47 lo cual limita la disponibilidad del Ca; deficiencia general de microelementos a excepción del Boro y las cantidades disponibles de N y P son de 60,48 y 9,16 kg respectivamente, los cuales están por debajo de las cantidades requeridas por *C. nlemfuensis* para producir 25 ton/ha/año de materia seca (Fajardo y Solano, 2014); N, P y K están por debajo de las cantidades requeridas por *Brachiaria brizantha cv Toledo* para producir 30 ton/ha/año de materia seca; las anteriores cantidades se presentan como la producción promedio para cada una de las especies.

Variables de respuesta

Las evaluaciones y la toma de muestras se realizaron un día antes de pastoreo.

Altura: se registró la altura en 10 plantas al azar por tratamiento. Se midió la longitud en cm desde la superficie del suelo hasta la hoja bandera de la planta. Los datos se tomaron un día de cada pastoreo.

Cobertura: se evaluó de acuerdo a la proporción de área cubierta de la superficie del suelo

por las especies, se asignaron valores dentro del rango de 0 a 100% donde la categoría nula esta entre 0 y 10%; baja entre 11 y 30%; media entre 31 y 55%; media alta entre 56 – 70% y alta entre 71 – 100%.

Vigor: se determinó de acuerdo al color, crecimiento y sanidad en una escala de 1 a 5, siendo 1 las plantas más débiles y 5 las más fuertes (Gallego et al., 2015).

Estado sanitario: la evaluación de daño causado por insectos fue 1% de la planta afectada = presencia del insecto; 1,1-10% de la planta afectada = daño leve; 10,1-20% de la planta afectada= daño moderado y más del 20% de la planta afectada = daño grave. La escala para evaluar el daño causado por microorganismos fue 5% de la planta afectada = presencia de la enfermedad; 5-20% de la planta afectada = daño leve; 20-40% de planta afectada = daño moderado y más del 40% de la planta afectada =daño severo o grave.

Producción de biomasa: con un marco de 50 × 50 cm a una altura de 10 cm del suelo se realizó un aforo por tratamiento en cada repetición, se registró el peso fresco de las muestras, luego se homogenizo el material y se obtuvieron muestras para ser llevadas al horno a temperatura de 70°C durante 72 horas, con el fin de obtener el porcentaje de materia seca por tratamiento.

Calidad nutricional: se realizó análisis bromatológico del forraje para cada tratamiento. El contenido de nutrientes (materia seca, proteína bruta, fibra bruta, materia orgánica y cenizas) fue determinado mediante el

método tradicional, conocido en su conjunto como análisis bromatológico, en un laboratorio privado.

Análisis estadístico

Para el análisis de la información se utilizó el programa SPSS statistics 22, se hizo estadística descriptiva y posteriormente se confirmó la normalidad de los datos para realizar un análisis de varianza de dos factores (bloques y tratamientos) con el fin de determinar si había diferencias estadísticamente significativas entre bloques y luego entre tratamientos, dado que la investigación se realizó en una ladera que tiene gradiente de fertilidad, cada bloque representa un gradiente. Para establecer cuáles fueron las diferencias significativas entre tratamientos observadas, se realizó la prueba post hoc de promedios de Duncan.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de suelo (Tabla 1) demuestran la necesidad de la planeación del manejo de praderas, donde la fertilización o nutrición del cultivo es indispensable para aportar los nutrientes requeridos por la especie para manifestar su potencial genético y fisiológico. Según (López et al., 2015), el nutriente de mayor asimilación para *C. nlemfuensis* es K, seguido por N, S, P, Ca y Mg. El orden de absorción de los elementos menores indica que el Fe es el nutrimento de mayor absorción, seguido por Mn, Zn, Cu y B. En *B. brizantha* cv. *Toledo* el nutriente de mayor absorción es el K, seguido por N, Ca, Mg, P y S. En cuanto a menores el Fe es el de mayor consumo, seguido por Mn, Zn, Cu y B según lo reportado por Sáenz et al., (2016).

Tabla 1. Resultado análisis de suelo.

Elemento	Cantidad	Unidades
N total	0,52	%
M.O.	10,37	%
P	1,8	ppm
Sat. Al	2,25	%
Al	0,1	meq/100 g
Ca	2,63	meq/100 g
Mg	1,2	meq/100 g
K	0,25	meq/100 g
Na	0,26	meq/100 g
CICe	4,34	meq/100 g
B	0,34	ppm
Cu	0,4	ppm
Fe	6,0	ppm
Mn	6,0	ppm
Zn	2,4	ppm

Fuente: autores

Calidad de los biofertilizantes. El ALOFA se caracterizó por su alto contenido de K, pH ácido y buen contenido de microelementos esenciales para todos los cultivos (Tabla 2).

Tabla 2. Composición nutricional del ALOFA.

Parámetro	Resultado	Unidad	Método analítico
Carbono Orgánico Oxidable Total	25.8	g/L	Walkley-Black*
pH	4.86		Potenciométrico
Densidad (20°C)	1.06	g/c.c.	Gravimétrico*
Conductividad Eléctrica (1:200)	0.33	dS/m	Conductímetro
Sólidos Insolubles	4.29	g/L	Gravimétrico*
Nitrógeno Orgánico	3.21	g/L	Micro-Kjeldhal*
Fósforo Soluble	0.45	g/L	Colorimétrico*
Potasio Soluble	11.4	g/L	Abs. Atómica*
Calcio Soluble	1.91	g/L	Abs. Atómica*
Magnesio Soluble	2.33	g/L	Abs. Atómica*
Azufre Soluble	4.32	g/L	Turbidimétrico*
Hierro Soluble	1.3	g/L	Abs. Atómica*
Manganeso Soluble	2793	p.p.m	Abs. Atómica*
Cobre Soluble ABS	527	p.p.m	Atómica*
Zinc Soluble	2018	p.p.m	Abs. Atómica*
Boro Soluble	6.9	p.p.m	Colorimétrico*
Sodio Soluble	0.24	g/L	Emisión de Llama*

*NTC5167. Fuente: autores

Fertilizante orgánico comercial: se destaca su alto contenido de N y P, con ausencia de elementos menores, lo cual implica el uso de otros abonos o fertilizantes para complementar la nutrición de las plantas (Tabla 3).

Tabla 3. Composición abono orgánico comercial BP-150.

Parámetro	Resultado	Unidades
Nitrógeno total (N)	45.05	g/l
Fósforo asimilable (P2O5)	34	g/l
Carbono orgánico oxidable	53.7	g/l
Densidad a 20°C	1.17	g/ml
pH en solución al 10%	3	
Conductividad eléctrica	37	ds/m
Salmonella sp.	Ausente en 25ml del producto	
Enterobacterias	Menos de 10 UFC/ml de producto	

Fuente: Agro biológicos SAFER

De acuerdo con los requerimientos nutricionales de *Cynodon nlemfuensis* y *Bracharia brizantha cv. Toledo* se evidencia que la composición nutricional del ALOFA (Tabla 2) presenta mayor cantidad de elementos nutricionales disponibles comparado con el abono orgánico comercial (Tabla 3), porque cuenta con macro y micro elementos que permiten un desarrollo óptimo del cultivo. En agroecosistemas ganaderos donde prevalecen marcadas deficiencias de nutrientes, la fertilización de recursos forrajeros representa una de las prácticas con mayor impacto, tanto en la productividad como en la rentabilidad del sistema, lo que aumenta la producción de materia seca por unidad de área y calidad del forraje en porcentaje de proteína cruda y

digestibilidad del mismo. Los elementos que limitan en mayor proporción la productividad de los pastos, por presentar deficiencias más acentuadas, son el nitrógeno (N) y el fósforo (P). Otros elementos que pueden causar este efecto son el potasio, boro y zinc (Sáenz et al., 2016).

El suelo alberga macro y micro nutrientes que se utilizan para el mantenimiento del cultivo; sin embargo, su continua extracción por parte de las plantas puede limitar el rendimiento y producción de la pradera, si no se compensan o se devuelven dichos elementos al suelo; es por esto que se deben realizar planes de fertilización de acuerdo a los requerimientos de cada especie (Altieri & Nicholls, 2017).

En este caso, el potasio (K) es el nutriente que se presenta en mayor proporción en el suelo, brindando los niveles adecuados para el desarrollo de las especies evaluadas, sin embargo, ALOFA cuenta con un aporte significativo en K, siendo un complemento importante en la nutrición de los pastos, porque este se presenta como el nutriente de mayor consumo por parte de las gramíneas.

Variables agronómicas

***Cynodon nlemfuensis*:** los promedios muestran que el T2 presenta el mejor comportamiento para la mayoría de las variables evaluadas, mientras que el T1 registró los menores valores. El análisis de varianza (Tabla 4) detectó diferencias estadísticas ($P=0.05$) entre bloques para altura, cobertura y producción de materia seca, lo cual se atribuye a la pendiente del terreno que ocasiona una diferencia de fertilidad y entre tratamientos para cobertura, plagas y enfermedades.

Tabla 4. Análisis de varianza para *Cynodon nlemfuensis*.

Fuentes de variación		Suma de cuadrados	gl	Cuadrados medios	f	Sig.
Altura	Entre bloques	0,3	2	0.169	73.587,00	0.000*
	Entre tratamientos	0	4	0.01	1.058,00	0,39
	dentro del tratamiento	0,4	40	0.01		
Cobertura	Entre bloques	7412,3	2	3.706.156	25.042,00	0.000*
	Entre tratamientos	1760,1	4	440.022	1.483,00	0.0225*
	dentro del tratamiento	11868,2	40	296.706,00		
Vigor	Entre bloques	0,3	2	0,2	1.815,00	0.175
	Entre tratamientos	0,1	4	0	0,4	0.84
	dentro del tratamiento	3778	40	0,1		
Plagas	Entre bloques	0,3	2	0,2	0,5	0.601
	Entre tratamientos	2089	4	0,5	1.918,00	0,0126*
	dentro del tratamiento	10889	40	0,3		
Enfermedades	Entre bloques	0,6	2	0,3	0,8	0.444
	Entre tratamientos	2356	4	0,6	1.828,00	0,0146*
	dentro del tratamiento	12889	40	0,3		
Producción de materia seca	Entre bloques	865142	2	432.571,00	54.581,00	0.000*
	Entre tratamientos	67539	4	16.885,00	0,6	0.667
	dentro del tratamiento	1130464	40	28.262,00		

*Diferencias estadísticamente significativas (P= 0.05). Fuente: Autores

La prueba de Duncan, formó dos grupos para las tres variables (Figura 1), donde los mejores resultados para cobertura los presenta el T2, que corresponde a ALOFA al 2.5%;

igualmente, presenta la menor infestación por plagas, está en el grupo con menor incidencia de enfermedades y tiene la mayor producción.

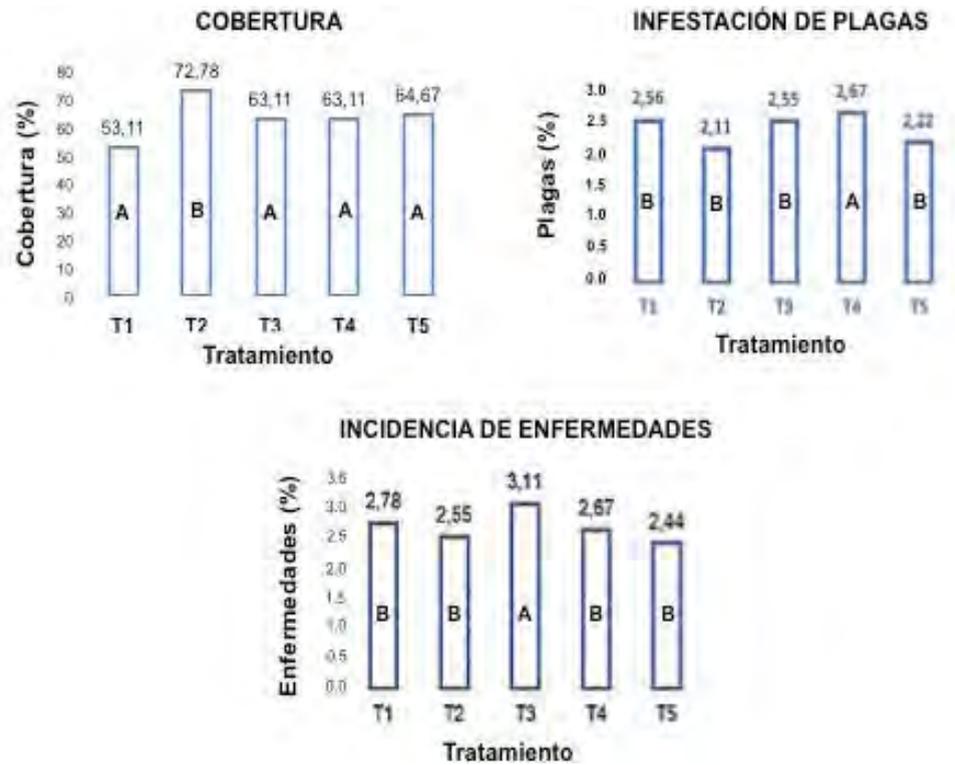


Figura 1. Prueba de Duncan (P=0.05) para *Cynodon nlemfuensis*.

Fuente: autores.

En este estudio, la cobertura fue baja y la mejor (72,78%) se obtuvo con la aplicación de ALOFA al 2,5%, valor inferior al reportado por Fajardo y Solano (2014) quienes obtuvieron valores entre 77,08 y 95,42% con aplicaciones de abonos orgánicos líquidos; asimismo Arce et al., (2013) reportaron valores entre 80% y 86,81%, cuyo menor valor lo obtuvieron bajo un manejo convencional, las diferencias se atribuyen al tiempo de establecimiento de las praderas. En la presente investigación, la pradera estaba recién establecida, contrario a los otros estudios donde estaban totalmente establecidas, Sáenz et al., (2016) mencionan que el pasto estrella es una especie de rápido crecimiento con hábito rastrero lo cual le permite buena cobertura cuando se ha establecido totalmente.

Las praderas se afectan principalmente por la variación del clima, la resistencia al pisoteo del ganado y a la presencia de plagas y enfermedades. En este caso, la presencia de plagas fue muy baja y sus valores no implicaron medidas de control. En cuanto a enfermedades, la mayor afectación se presentó en el período lluvioso, entre febrero y mayo, lo que se atribuye a la poca aireación que existe en la pradera y se determina por la arquitectura y el crecimiento de la planta, la cual genera un ambiente óptimo para el desarrollo de enfermedades; no obstante, esta no superó el 3,11% de incidencia (Figura 1).

Brachiaria brizantha cv. Toledo: los promedios evidencian que el mejor comportamiento se presentó con los tratamientos T2, T3 y T5, mientras T1 como testigo registró los menores valores (Tabla 5).

Tabla 5. Promedios agronómicos para *Brachiaria brizantha* cv. Toledo.

Tratamiento	Altura (cms)	Cobertura (%)	Vigor (1-5)	Infestación (%)	Incidencia (%)	Producción (ton/ha/año)
T2	0,6	68,3	4,6	2	2,56	43,45
T3	0,57	75,6	4,4	2	2,33	44,31
T4	0,53	72,1	4	2	3	39,95
T5	0,54	75,3	4	2	2,56	44,46

Fuente: autores

El análisis de varianza ($p=0.05$) (Tabla 6) detectó diferencias estadísticas entre bloques para la variable cobertura y entre tratamientos para altura, cobertura, vigor y producción de materia seca.

La prueba de Duncan ($P=0.05$) (Figura 2), formó grupos y el mejor tratamiento en

producción de biomasa y comportamiento fue ALOFA al 2,5%, superando al testigo en 24%. Este valor coincide con los resultados obtenidos por (Álvarez et al., 2016), quienes registran alturas de 0,63 m, explicado por el periodo de recuperación, el cual fue de 40 días en los dos estudios.

Tabla 6. Análisis de varianza para *Brachiaria brizantha* cv. Toledo.

Fuentes de variación		Suma de cuadrados	gl	Cuadrados medios	f	Sig.
Altura	Entre bloque	0	2	0	0,4	0,67
	Entre tratamientos	0,1	4	0	22865	,000*
	Dentro del tratamiento	0	40	0		
Cobertura	Entre bloques	818533	2	409267	3878	0,028*
	Entre tratamientos	871689	4	217922	1991	0,011*
	dentro del tratamiento	4379111	40	109478		
Vigor	Entre bloques	0	2	0	0	1
	Entre tratamientos	2756	4	0,7	6200	0,001*
	dentro del tratamiento	4444	40	0,1		
Plagas	Entre bloques	30044	2	15022	1966	0,15
	Entre tratamientos	320933	42	7641		
	dentro del tratamiento	24311	4	6078	0,7	0,57
Enfermedades	Entre bloques	0	2	0	0,1	0,94
	Entre tratamientos	2089	4	0,5	1541	0,21
	dentro del tratamiento	13556	40	0,3		
Producción de materia seca	Entre bloques	138683	2	69341	1377	0,26
	Entre tratamientos	1569406	4	392351	22950	,000*
	dentro del tratamiento	683831	40	17096		

*Diferencias estadísticamente significativas ($P= 0.05$).

Fuente: autores

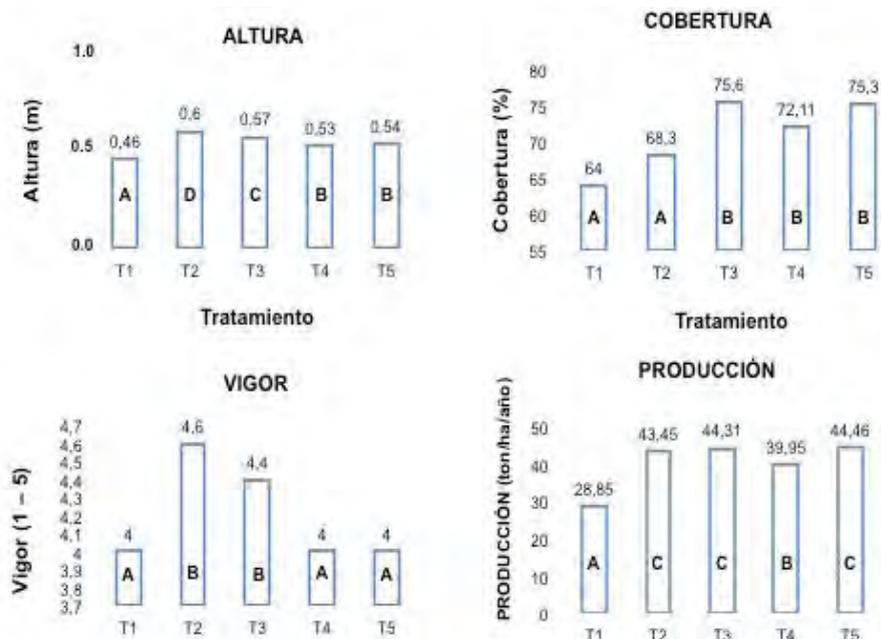


Figura 2. Prueba de Duncan ($P=0.05$) para *Brachiaria brizantha* cv. toledo. Fuente: autores.

Los valores de cobertura se encuentran entre el 64 y 75,5%, que son inferiores a los reportados por López et al., (2017), quienes obtuvieron entre el 74 y 90% e indican que esta variable en forrajes para pastoreo está influenciada por factores como la especie, tipo de crecimiento y método de siembra; las diferencias entre los estudios se atribuyen a que la pradera de *Brachiaria brizantha* cv. Toledo se encuentra establecida bajo un sistema de conservación de surcos en curvas a nivel, lo cual influyó en el bajo porcentaje de cobertura, debido a las zonas desprovistas de material vegetal que quedan entre los surcos.

La especie *B. brizantha* cv Toledo presentó vigor entre 4 y 4,5, donde el mejor resultado fue con ALOFA al 2,5%, similar a lo reportado por Gallego et al. (2015), quienes afirman que el Toledo es una planta vigorosa, puesto que presentó valores entre 4 a 4,5, lo cual refleja la fuerza con que se expresa el crecimiento, desarrollo y sanidad.

La producción de materia seca osciló entre 28,85 a 44,44 ton/Ms/ha/año, donde las

aplicaciones abono orgánico comercial y ALOFA al 2,5% +IM dieron los mejores valores, superando al testigo en un 35%. A su vez, los anteriores valores son superiores a los reportados por Castañeda et al., (2017), (25 a 33 ton/Ms/ha/año), lo que demuestra la respuesta del pasto a la fertilización foliar. Los resultados obtenidos con ALOFA al 2,5% se atribuyen al aporte de micronutrientes que potencializan el desarrollo de la especie.

La diferencia entre bloques se atribuye a la variación en la fertilidad debido al gradiente de la pendiente, donde el bloque 3 presenta mejores características de suelo, al encontrarse en la parte baja, debido a que cuenta con mayor fertilidad por el arrastre de nutrientes, razón por la cual se determinó utilizar un diseño experimental en BCA, dado que la topografía es un factor determinante en las características edáficas que influyen en el crecimiento de las plantas (Pentón et al., 2016).

Los resultados en *Cynodon nlemfuensis* y *Brachiaria brizantha* cv. Toledo, evidencian el

efecto de la fertilidad del suelo complementado con la fertilización foliar en el comportamiento agronómico de los forrajes, donde los mejores resultados se obtuvieron en el bloque 3, que corresponde a la parte baja de la pendiente.

Los mejores resultados se obtuvieron con el T2 en *Cynodon nlemfuensis* y T3 en *Brachiaria brizantha* cv. Toledo, corroborando la eficiencia del ALOFA al 2,5%. La diferencia del comportamiento de cada especie con respecto a estos tratamientos se atribuye a la capacidad de cada una para crear simbiosis con IM, obteniendo la mayor eficiencia en *Brachiaria brizantha* cv Toledo. Esto concuerda con **González et al. (2015)**, quienes al evaluar varios tipos de forrajes encontraron que las especies de *Brachiaria* cuando se cultivan en suelos ácidos de baja fertilidad, son excelentes hospedantes de micorrizas vesículo - arbusculares (MVA); Plana et al. (2016), evaluaron distintas

cepas de hongos formadores MA, en *Brachiaria*, obtuvieron buenos resultados en la calidad nutricional de los forrajes y en las variables agronómicas luego de 103 días después de la inoculación, explicado por la simbiosis micorriza-planta, por lo cual aumenta la asimilación de nutrientes por parte de la gramínea y se disminuyen los requerimientos externos de fósforo.

Calidad Nutricional

Como se observa en la Tabla 7, el mayor porcentaje de MS se presenta en T4 superando al testigo en 6.32%; estos valores concuerdan con los reportados por Sánchez *et al* 1998 quienes obtuvieron valores entre 26.2 y 27.9% con aplicación de fertilización química, por se concluye que los tratamientos no inciden en la calidad nutricional de los forrajes. En cuanto al contenido de proteína, este no presenta diferencias entre los tratamientos.

Tabla 7. Porcentaje de materia seca para cada forraje de acuerdo al tratamiento.

Tratamiento	Cynodonn nlemfuensis		B. brizantha cv. Toledo	
	Materia seca %	Proteína (%)	Materia seca %	Proteína (%)
T1	25.62	13,0	25.13	11,9
T2	25.86	13,3	24.49	10,8
T3	26.96	13,0	26.10	11,4
T4	27.35	12,8	26.95	11,4
T5	26.18	13,1	26.75	11,4

Fuente: autores

4. CONCLUSIONES

El tratamiento 2, correspondiente a la aplicación de ALOFA al 2,5%, presenta el mejor comportamiento en las variables agronómicas, por lo que se convierte en una alternativa confiable y económica para el mantenimiento de praderas.

La implementación del manejo agronómico en forrajes es una herramienta de potencialización de la producción, traducido en aumentos en la capacidad de carga animal, contribuyendo al incremento en la eficiencia de los sistemas ganaderos.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en los tratamientos 2 y 3 se puede afirmar que el ALOFA es eficiente en el mejoramiento de los parámetros productivos de los forrajes.

Brachiaria brizantha cv Toledo presenta comportamiento superior en producción de materia seca por unidad de área con respecto a *Cynodon nlemfuensis*, por ello la especie representa una alternativa óptima para establecer en los sistemas ganaderos de la región y de esta manera mejorar los parámetros productivos.

Con base en los resultados se concluye que la fertilización no incide en la calidad nutricional de los forrajes.

Las inversiones de biofertilizantes en forrajes para pastoreo tienen un impacto positivo en las unidades productivas, satisfacen los requerimientos nutricionales de las praderas y minimizan los impactos ambientales, ayudando al mantenimiento de la biodiversidad del suelo y la capacidad fotosintética de los forrajes.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer autor: Metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización. **Segundo autor:** Metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización. **Tercer autor:** Logística, metodología, análisis de datos, conceptualización, escritura – revisión y edición. **Cuarto autor:** Metodología, análisis de datos, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad del Cauca, al Servicio Nacional de aprendizaje SENA y al Ingeniero Guido Ary Burbano Certuche por el apoyo en la realización de la investigación.

LITERATURA CITADA

- Altieri, M. A., y Nicholls, C. I. (2017). Agroecology: a brief account of its origins and currents of thought in Latin America, *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 41(3-4), 231-237. <https://doi.org/10.1080/21683565.2017.1287147>
- Álvarez A. C., y Cruz, W. A. (2017). Manejo de pastizales en sistemas de producción ganaderos de Nueva Guinea, Costa Caribe Sur de Nicaragua. *Revista Ciencia E Interculturalidad*, 10(20), 122-139. <https://doi.org/10.5377/rci.v20i1.4858>
- Álvarez, G. R., García, A. R., Cervantes, X. P., Zamora, D. J., Chabla, G. M., Chacón, E., Garzón, J. W., Ramírez, J. L., y Ramos, Y. (2016). Comportamiento agronómico de la asociación del pasto *Brachiaria decumbens* con dos leguminosas. *RE-DVET* 17(4), 9 12.
- Arango, J., Gutiérrez, J., Mazabel, J., Pardo, P., Enciso, K., Burkart, S., ... Hincapié, B. (2016). Estrategias Tecnológicas para Mejorar la Productividad y Competitividad de la Actividad Ganadera. Palmira: CIAT No. 414. p. 2.
- Arce, J., Villalobos, L., y Wingching, R. (2013). Costos de producción de pastos de piso en finca de asociados de la cooperativa de productores de leche Dos Pinos R.L. Escuela de zootecnia. Universidad de Costa Rica. *Ventana lechera* 21 (7), 9-12.
- Carulla, J. E., y Ortega, E. (2016). Sistemas de producción lechera en Colombia: retos y oportunidades. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 24(2), pp. 83-87.
- Castañeda, L., Olivera, Y., y Wencomo, H. B. (2017). Agronomic evaluation and selection of *Brachiaria* spp. accessions on moderate fertility soils. *Pastos y Forrajes*, 40, (4), 272-276, 2017.
- Fajardo, M.J., y Solano, J.A. (2014). Evaluación de la fertilización foliar con purín la finca mineralizado en producción de forrajes (Tesis pregrado Ingeniería Agropecuaria). Popayán, Cauca, Colombia: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad del Cauca.
- Gallego, L. A., Mahecha, L., y Angulo A. J. (2015). Crecimiento y desarrollo de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray en condiciones de trópico alto. En: Tercer congreso nacional de sistemas silvopastoriles: VIII Congreso internacional de sistemas agroforestales. Argentina. / compilado por Pablo L. Peri. - 1a ed. - Santa Cruz: Ediciones INTA, pp. 53-57.

- Garro A., y Jorge E. (2016). El suelo y los abonos orgánicos: acciones climáticas en el sector agropecuario. San José (Costa Rica). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). p.106.
- González, P., Ramírez, J. F., Morgan, O., Rivera, R., y Plana, R. (2015). Contribución de la inoculación micorrizica arbuscular a la reducción de la fertilización fosfórica en *Brachiaria decumbens*. *Cultivos Tropicales*, 36(1), 135-142.
- Herrero, M., Wirsenius, H. B., Rigolot, C., Thornton, P., Havlík, P., De Boer, I. y Gerber, P.J. (2015). Livestock and the Environment: What Have We Learned in the Past Decade? *Annual review and environment and resources* 40, 177-202. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-031113-093503>
- López, M. J., Figueroa, U., Fortis, M., Núñez, G., Ochoa, E., y Sánchez, J. I., (2015). Evaluación de dosis equivalentes de fertilizante y estiércol en la producción de maíz forrajero (*Zea mays*). *FYTON*, 84, 8-13.
- López, F. A., Miranda, J. A., y Calero, W.A. (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.
- López, O., Sánchez, T., Iglesias, J. M., Lamela, L., Soca, M., Arece, J. y Milera, M de la C. (2017). Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. *Pastos y Forrajes*, 40(2), 85-95.
- Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. (2016). Identificación de las causas de la deforestación y la degradación forestal en Nicaragua. Managua, Nicaragua. Proyecto Apoyo a la Preparación de la Estrategia para la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal (ENDE-REDD). Junio. pp. 2-18.
- Mora, M. A., Ríos, L., Ríos, L. y Almario, J. L. (2017). Impacto de la actividad ganadera sobre el suelo en Colombia. *Ingeniería y región*, 17, pp. 1-12. <https://doi.org/10.25054/issn.2216-1325>
- Plana, R., González, P.J., y Soto, F. (2016). Uso combinado de ecomic®, fitomas-e® y fertilizantes minerales en la producción de forraje para la alimentación animal a base de triticale (x. Triticosecale Wittmack), cv INCA TT-7. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 76-83. <http://dx.doi.org/10.1234/ct.v37i4.1277>
- Pentón, G., Martín, G.J., y Rivera, R. (2016). Efecto del arreglo espacial y el intercalamiento con *Canavalia ensiformis* micorrizada en la respuesta agroproductiva de *Morus alba*. *Pastos y Forrajes*, 39(3), 92-99.
- Restrepo, S.P., Pineda, E.C. y Ríos, L. A. (2017). Mecanismos de acción de hongos y bacterias empleados como biofertilizantes en suelos agrícolas: una revisión sistemática. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(2), 335-351. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num2_art:635
- Sáenz, E., Saucedo, R.A., Morales, C.R., Jurado, P., Lara, C.R., Melgoza, A. y Ortega, J.A. (2016). Efecto del corte y niveles de fertilización de biol en el rendimiento de materia seca y producción de semilla del pasto blando (*Nasella* sp) con riego complementario en la estación experimental choquenaira. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 3(3), 48-54.
- Torres E., Ariza, D., Baena, C.D., Cortés, S., Becerra, L., y Riaño, C.A. (2016). Efecto de la fertilización en el crecimiento y desarrollo del cultivo de la avena (*Avena sativa*). *Pastos y Forrajes*, (39)2, 102-110.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

**Licencia de Creative Commons**

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

ANÁLISIS DE VARIABLES PRODUCTIVAS Y SOCIOEMPRESARIALES DE PRODUCTORES DE AGUACATE HASS DE DOS MUNICIPIOS DEL CAUCA PARA LA CREACIÓN DE INDICADORES PARA LA TOMA DE DECISIONES DEL SECTOR RURAL

ANALYSIS OF PRODUCTIVE AND SOCIO-BUSINESS VARIABLES
OF AVOCADO HASS PRODUCERS IN TWO MUNICIPALITIES
OF CAUCA FOR THE CREATION OF
DECISION-MAKING INDICATORS IN THE RURAL SECTOR

¹Héctor Fabio López Castaño, ²Jéssica Almeida Braga,
³Max Brandão de Oliveira

¹ Ingeniero agrónomo, M.Sc. en Administración Financiera, Universidad EAFIT- Popayán, Cauca, (Colombia).

² Estadística, M.Sc. en Gerencia Empresarial, Universidad Nacional Abierta
y a Distancia (UNAD), Pereira, Risaralda, (Colombia).

³ Estadístico, M.Sc. en Logística e Investigación Operacional (Brasil), Doctorado en Ciencias
Animal (Brasil), Universidade Federal do Piauí, Teresina, Piauí, (Brasil).

¹hflopezc@eafit.edu.co; ²jessica.almeida@unad.edu.co;

³maxbrandao@ufpi.edu.br

RESUMEN

Contextualización: en el artículo se aborda la aplicación de técnicas de análisis de datos multivariados en el sector agro, con el propósito de caracterizar a dos grupos de agricultores de aguacate hass, a partir de los datos que recogen las entidades que tradicionalmente prestan asistencia técnica rural en el país, las unidades municipales de asistencia técnica (UMATAS) y facilitar la toma de datos en campo y arrojando luces sobre la creación de nuevos indicadores de desempeño.

Vacío de conocimiento: Hay una deficiencia en la aplicación de métodos e instrumentos de análisis de datos en el proceso de asistencia técnica rural, que permitan definir recomendaciones de actividades, insumos y manos de obra más específicas a la realidad de las distintas asociaciones o individuos de productores agrícolas

Propósito del estudio: 1) analizar los datos recogidos a través del instrumento de diagnóstico a las fincas del Registro de Usuarios de

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.3159>

Asistencia Técnica (RUAT) que realizan las UMATAS en cumplimiento de su papel de acompañamiento técnico rural; 2) aplicar las técnicas estadísticas de clasificación y organización de datos más pertinente a dicho instrumento de caracterización; y 3) determinar la importancia que cumplen las variables que se recogen en los instrumentos de diagnóstico a las fincas con el propósito de construir indicadores.

Metodología: a partir de la revisión de varios referentes teóricos sobre los pasos necesarios para la creación y selección de indicadores, se siguieron las siguientes etapas metodológicas: desarrollo de un marco conceptual; selección de variables; normalización de los datos; análisis multivariado y ponderación de la información. Otros pasos posteriores, como la agregación de la información, y el análisis de robustez y sensibilidad, podrán ser parte de subsiguientes trabajos.

Resultados y conclusiones: se encontró que las variables que tuvieron mayor peso en la caracterización y agrupación de los productores fueron las pertenecientes al grupo de las buenas prácticas agrícolas y al de la producción, demostrando que con solo 8 variables se puede tener una buena aproximación a la caracterización de los productores, en lugar de las más de 36 variables de las que se compone el instrumento de diagnóstico RUAT.

Palabras clave: aguacate; análisis de datos; asistencia técnica; asociaciones de agricultores

ABSTRACT

Contextualization: This article addresses the application of multivariate data analysis techniques in the agricultural sector, in order to characterize two groups of hass avocado farmers, based on data collected by entities that traditionally provide rural technical assistance in the country, the municipal technical assistance units (UMATAS), as well as to facilitate

data collection in the field and shedding light on the creation of new performance indicators.

Knowledge gap: Poor application of data analysis methods and instruments in the rural technical assistance process, which allow defining recommendations for activities, inputs and labor more specific to the reality of the different associations or individuals of agricultural producers.

Purpose: 1) Analyze the data collected through the diagnostic instrument to the Registry of Users of Technical Assistance (RUAT) farms, which is used by the UMATAS to fulfill their role of rural technical support; 2) Apply the statistical techniques of classification and organization of data most pertinent to said characterization instrument; and 3) Determine the importance of the variables included in the diagnostic instruments for farms for the construction of indicators.

Methodology: Based on the review of several theoretical references on the steps necessary for the creation and selection of indicators, the following methodological steps were followed: Development of a conceptual framework; selection of variables; normalization of data; multivariate analysis and weighting of information. Other subsequent steps such as information aggregation, robustness and sensitivity analysis, may be part of subsequent work.

Results and conclusions: It was found that the variables that had greater weight in the characterization and grouping of producers were those belonging to the group of good agricultural practices and to that of production, demonstrating that with only 8 variables it is possible to have a good approximation to the characterization of the producers, instead of the more than 36 variables that make up the diagnostic instrument RUAT.

Keywords: Avocado; data analysis; farmers associations; technical aid.



RESUMEN GRÁFICO: etapas de la elaboración del trabajo, que inicio por la selección y depuración de las variables a partir de la base de datos recolectada a través del RUAT y la plataforma Kanpo y finaliza con la definición de las características comunes de los grupos de productores, encontrados a partir del uso de la aplicación de estadística multivariada

1. INTRODUCCIÓN

El aguacate hass es, sin duda, un cultivo muy atractivo para Popayán y el departamento del Cauca en general, donde según datos de la Corporación Colombia Internacional (Idrobo, 2013), existe potencial para exportar a Italia, España, Francia, China, Korea, Abu Dabi y Estados Unidos, favoreciendo a más de 520 familias en el Cauca, representadas en más de 1.000 hectáreas sembradas en el departamento y 420 hectáreas sembradas en Popayán. Es por esto que buscar estrategias que favorezcan la toma de decisiones con respecto a aguacate hass para pequeños productores es una tarea que en definitiva favorece de manera sostenible al territorio.

Experiencias exitosas como Kanpo y CAMPO UNAD, las cuales “Proponen el desarrollo de múltiples servicios de consultoría, en temas relacionados con la productividad agropecuaria, las asesorías ambientales” (Leal, 2016, p.67), constituyen una importante opción para captar datos de la actividad agrícola y ser procesada para generar indicadores de desempeño (key performance index, KPI por sus siglas en inglés). La importancia de los indicadores radica en que, de acuerdo con Solá & María (2003), un indicador permite seguir y evaluar en el tiempo, que son los aspectos más importantes para una organización, mediante su comparación con referentes externos e internos.

La anterior definición implica que un indicador debe cumplir dos funciones principales: la primera, describir la situación actual de un proyecto, acción, programa o cualquier fenómeno; y la segunda, ayudar a emitir un juicio de valor sobre el desempeño actual de dicho fenómeno.

Por ejemplo, si se tiene en cuenta el rendimiento por hectárea como un indicador de productividad y se supone que en una finca productora de aguacate en el municipio de El Tambo, Cauca, tiene un valor de 5 ton/ha, dicha cifra, por sí sola, no diría nada sobre su desempeño productivo, mientras que se contrasta dicho valor con el indicador de productividad de aguacate promedio para el municipio de 3.5 ton/ha, queda claro que, en efecto, la finca posee un óptimo desempeño.

Igualmente, dependiendo del tipo de fenómeno, los indicadores pueden usarse en la medición de insumos (*outputs*), procesos o actividades, productos (*outputs*), resultados finales (*outcomes*) o el desempeño de en las dimensiones de eficiencia, eficacia, calidad y economía (Armijo, 2011).

En Colombia se ha concebido la extensión rural como un proceso de transferencia tecnológica que implica la adopción de nuevas tecnologías por parte del mayor número de agricultores, a través de capacitaciones. En dichas capacitaciones el técnico, quien conoce el avance tecnológico, trata de persuadir al agricultor para que adopte el cambio y así obtenga mejoras en sus procesos y recompensas económicas (Clavijo, 2008).

En este sentido, Rodríguez-Espinoza (2015) propone pasar del enfoque tradicional de transferencia de tecnología a uno nuevo, basado en el desarrollo de capacidades de auto-gestión de abajo hacia arriba. En este nuevo enfoque, la interconexión entre agricultores

y la generación de redes que facilitan el intercambio de experiencias, métodos o actividades entre los distintos actores del sistema, constituye la clave para fortalecer el desarrollo rural.

Por otra parte, la mayoría de los cultivos tropicales poseen escasa información disponible sobre dónde sembrar y cómo manejar los cultivos efectivamente (Jiménez, et al., 2009), lo cual implica un enorme número de posibles combinaciones de prácticas de manejo, así como una gran variación de las condiciones de crecimiento en las diferentes etapas de desarrollo de los cultivos.

Bajo estas condiciones de alta variación en las prácticas de manejo y en las condiciones del cultivo, cada unidad productiva se considera un evento único o experimento (Cock, 2007), lo cual conlleva a la idea de que, si fuera posible recolectar información de un gran número de eventos de cosecha bajo condiciones variadas, podría usarse esta información para desarrollar modelos que sirvan de indicadores para mejorar el manejo de los cultivos a los pequeños productores, de acuerdo a las condiciones específicas de sus fincas (Jiménez et al., 2011).

Es así como Satizábal et al. (2012), proponen modelos para caracterizar los cultivos de mora y lulo en Colombia y usar esta información para mejorar la toma de decisiones entre los pequeños productores del país, aplicando métodos de análisis de datos computacionales conocidos también como "Mapas autoorganizados" (SOM) o mapas Kohonen para la mora y el uso de redes neuronales para el lulo.

Partiendo de la hipótesis de que es posible mejorar la toma de decisiones para dos de los principales actores del sistema agroindustrial colombiano, como son las unidades

municipales de asistencia técnica (UMATAS) y las asociaciones de productores agrícolas, a partir del análisis de datos avanzado, el presente estudio plantea tres objetivos: 1) analizar los datos recogidos a través del instrumento de diagnóstico a las fincas RUAT que realizan las UMATAS en cumplimiento de su papel de acompañamiento técnico rural; 2) aplicar las técnicas estadísticas de clasificación y organización de datos más pertinente a dicho instrumento de caracterización; y 3) determinar la importancia que cumplen para la construcción de indicadores las variables que se recogen en los instrumentos de diagnóstico a las fincas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología para la selección de indicadores propuesta por Nardo et al. (2005) se usó como referente teórico para el desarrollo del presente trabajo. Esta comprende los siguientes pasos: desarrollo de un marco conceptual, selección de variables, imputación de datos perdidos, normalización de los datos, análisis multivariado, ponderación de la información, agregación de la información, y análisis de robustez y sensibilidad.

Para identificar de forma efectiva las variables que son realmente significativas para la formación de los indicadores, se aplicó el análisis de componentes principales (ACP) como herramienta de estadística multivariante, la cual realiza una selección de los datos principales, excluyendo las variables no correlacionadas. Este tipo de análisis nos permite adelantar el proceso de selección propuesto por Nardo et al. (2005), debido a que, en el conjunto de datos utilizado en este estudio, no hubo la necesidad de imputación de datos y en la ACP se tratan los datos como variables tipificadas o expresadas en desviaciones con respecto a la media, y por esto, están correlacionadas, teniendo como principio base que no es necesario establecer jerarquías ni comprobar la normalidad para los datos cuantitativos.

Para el desarrollo del marco conceptual, se tuvieron en cuenta la relevancia, la frecuencia con que se recogen y la disponibilidad al público de las variables por recoger (Soto & Schuschny; 2009), definiéndose que el instrumento de caracterización más adecuado para el estudio es el Registro de Usuarios de Asistencia Técnica (RUAT).

Se recopilaron los datos y las variables para trabajar en el estudio a partir del diligenciamiento del RUAT, realizado a 33 productores del municipio de Popayán por parte de la UMAT municipal, en el segundo semestre del año 2017 y a 68 productores del municipio de El Tambo, entrevistados por dos estudiantes del programa de ingeniería agronómica de la UNAD, CEAD Popayán, en el primer semestre del año 2018.

Se compararon ambas bases de datos para hacerlas coincidir, obteniéndose una base de datos de 18 variables. Posteriormente, con el propósito de obtener la carga factorial más significativa para los datos, se siguió lo recomendado por De la Fuente (2011) y se fueron eliminando progresivamente columnas de la base de datos consolidada, principalmente del grupo sociodemográfico (DEMOG), hasta alcanzar la carga factorial global más significativa para el estudio, es decir, el 43.4% correspondiente a 8 variables para la base de datos de El Tambo y el 51.6% para la base de datos de Popayán.

De esta manera las bases de datos se dividieron en 4 grupos principales de variables: 4 económicas (ECON_CUAN), 2 productivas (PT), DEMOG y 1 de certificación en BPA (BPA), tal como se muestra en la tabla 1.

Aunque autores como Gonzales-García & Tabora (2015), destacan el uso del análisis de componentes principales (ACP) para encontrar

relaciones ocultas entre las variables que movilizan el sistema (principales) con otras que permanecen ocultas al simple análisis visual (latentes). En este trabajo se aplicó la técnica del análisis factorial múltiple (AFM), propuesta por Escofier & Pagès (2008) y Pages (2004), para analizar bases de datos en las que un

conjunto de individuos (X_i), está descrito por varios conjuntos de variables (K_i), que pueden ser del tipo cuantitativo o cualitativo. Los datos se ejecutaron a través del software R Studio versión 3.5.3, donde fue necesario instalar las librerías FactoMineR, Factoextra, Shiny y Factoshiny.

Tabla 1. Variables y grupos de variables involucradas en el estudio

Grupo	Variables	Tipo	Sigla
Económicas	Ingreso familiar total anual	Cuantitativa	IFTA
	Ingreso familiar total anual derivado de la actividad agrícola	Cuantitativa	IFTAA
	Costos establecimiento por hectarea	Cuantitativa	CE
	Precio de venta promedio por kg	Cuantitativa	PV
Productivas	Área en aguacate	Cuantitativa	AREAA
	Producción total	Cuantitativa	PT
BPA	Certificación en BPA	Cualitativa	BPA
Sociodemográficas	Sitio de venta	Cual.	SV

Fuente: Autores

Según la estructura visualizada en los análisis factoriales múltiples individuales (Figuras 1 y 2), se identificó la necesidad de trabajar las variables por grupos. Estas variables se separaron en grupos de variables demográficas, económicas, productivas y de certificación. Las variables de certificación son las que identifican la existencia de una certificación de buenas prácticas agrícolas (BPA) y certificación de registro de un predio exportador.

Posteriormente, se realizó el análisis factorial múltiple para los individuos a través del gráfico de individuos, obteniéndose grupos de productores que presentan comportamientos correlacionados entre ellos.

Por último, se empleó el mapa de los ejes parciales, con el fin de visualizar cómo los factores generados por los análisis separados del grupo de variables están relacionados con los factores del análisis factorial múltiple, que es la representación gráfica del análisis de componentes principales.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Conformación de los ejes factoriales

Para el caso de El Tambo, se encontró que el grupo de variables ECON_CUAN y PDCN ofrecen la mayor carga de inercia sobre el eje 1, con un 24.4%, mientras que el grupo de variables DEMOG y BPA aportaron la mayor carga de inercia para formar el eje 2, con un 19%, tal como lo muestra la Figura 1.

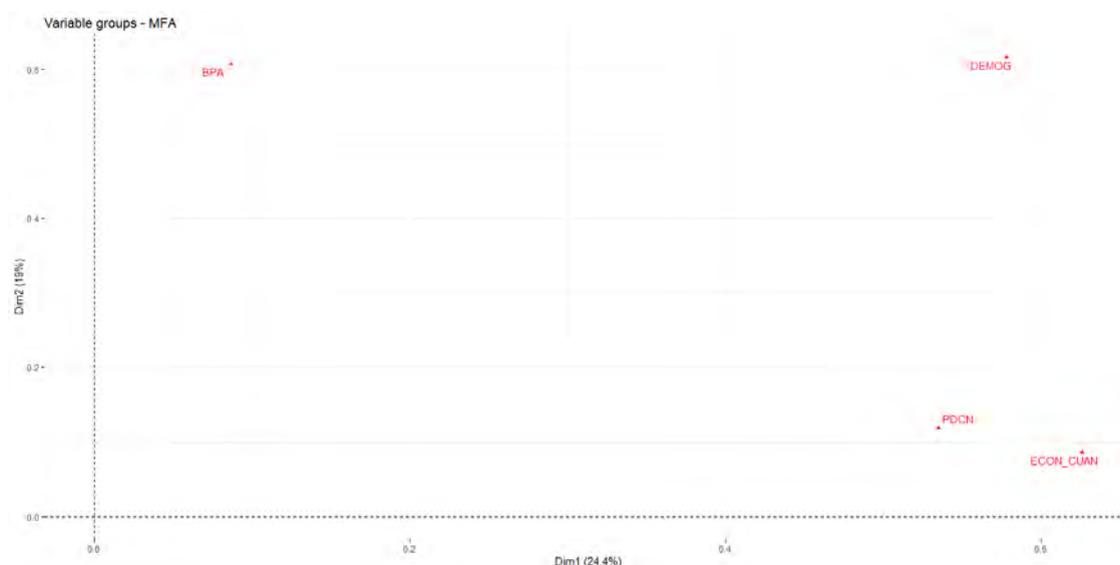


Figura 1. Contribuciones de los grupos de variables a la formación de los ejes, Municipio de El Tambo.

Fuente: Autores

Para el caso de Popayán (Figura 2), aunque el grupo de variables DEMOG tuvo el mayor aporte a la carga de inercia global, se prefirió definir la carga de inercia sobre el eje 1 con el grupo de variables PDCN (31.2%) y de BPA para el eje 2 (20.4%), con el propósito de evitar confusiones en la interpretación de la agrupación de los individuos hecha a través del AFM.



Figura 2. Contribuciones de los grupos de variables a la formación de los ejes para el municipio de El Tambo.

Fuente: Autores

3.2 Conformación ejes parciales

El mapa de los ejes parciales para El Tambo (Figura 3), muestra una correlación altamente positiva entre las variables PT e IFTAA y positiva entre estas y AREAA, y una correlación negativa con relación a IFTA. Del mismo modo, se observó que las distancias entre las variables de Área utilizadas en Aguacate en hectáreas (AREAA), Producción total medida en kilogramo por hectárea/año (PT), Ingreso familiar total anual derivado exclusivamente de la actividad agropecuaria (IFTAA), costo sostenimiento por

hectárea (CS), Precio de venta por productores (preciovp) y su origen, muestran una buena calidad de representación del estudio.

Para el municipio de Popayán, la Figura 4, muestra que en el eje 2 las variables IFTAA e IFTA, están fuertemente correlacionadas entre ellas, así como las variables PT, AREAA y PRECIOVP en el eje 1. Por último, al igual que para el caso de Popayán, la distancia entre estas variables y su origen muestran también una buena calidad de representación del estudio.

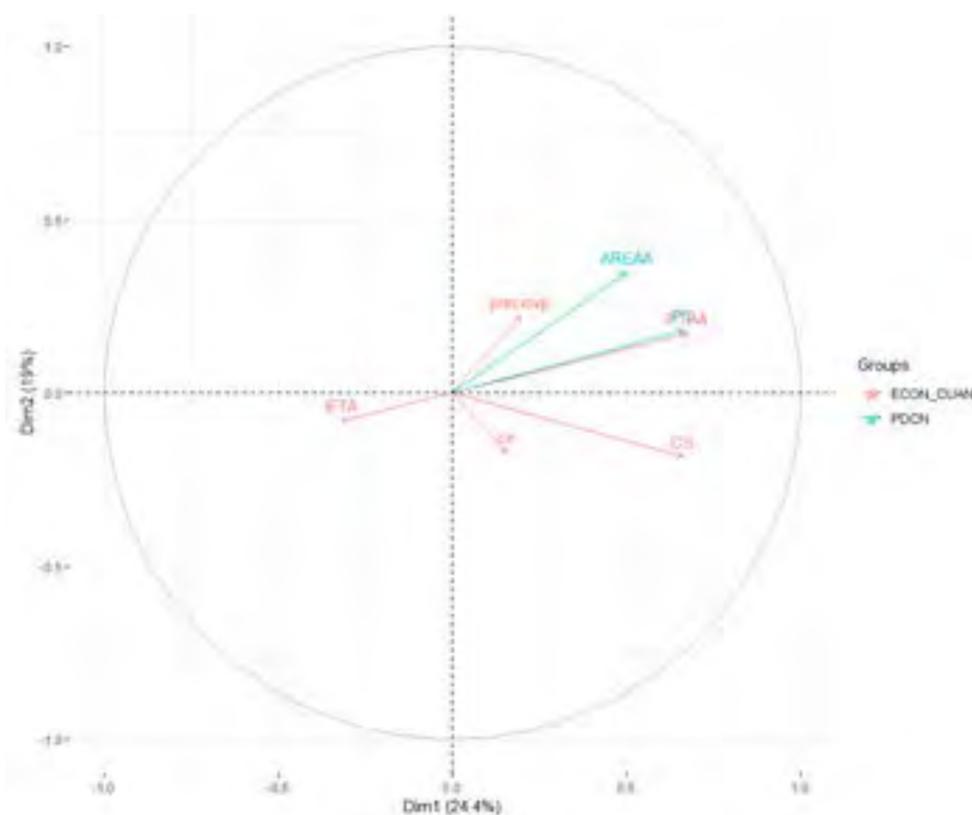


Figura 3. Gráfico de Análisis Factorial Múltiple de las variables del municipio El Tambo.

Fuente: Autores

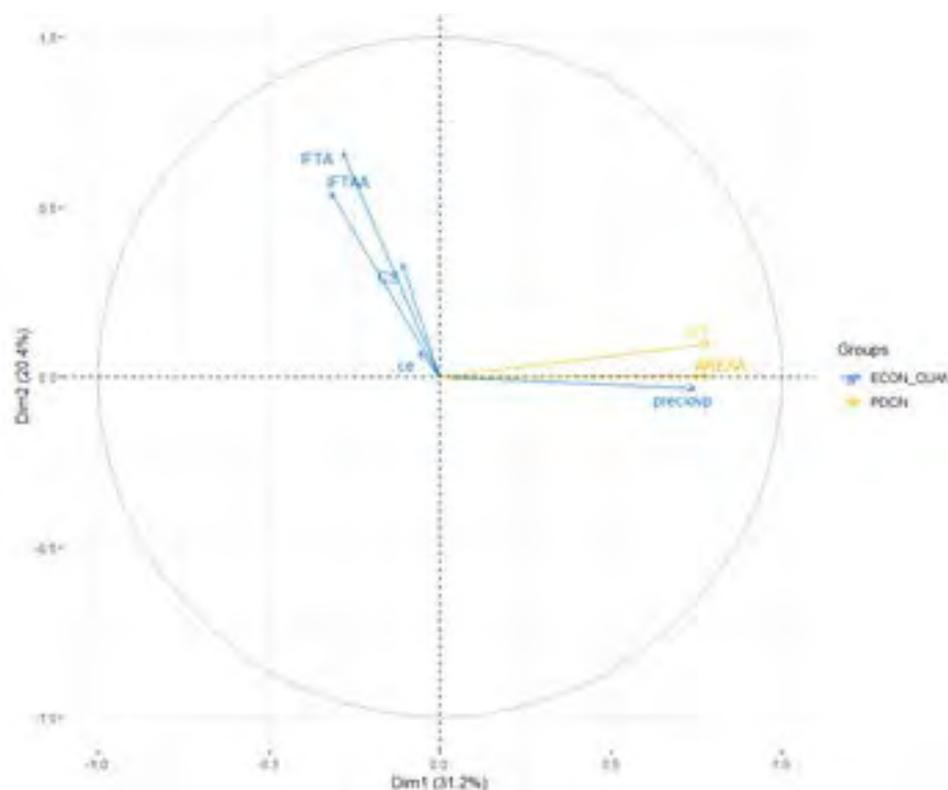


Figura 4. Gráfico de Análisis Factorial Múltiple de las variables del municipio El Tambo.

Fuente: Autores

3.3 Análisis factorial múltiple

Para el municipio El Tambo (Figura 5), las fincas del grupo (1), son las que mostraron valores más altos para las variables PV, CS, CE, SV y BPA, lo cual demuestra que una mayor productividad y un mayor precio de venta pueden estar relacionados con ventas a clientes institucionales gracias a las certificaciones en BPA y a una mayor inversión en el cultivo.

El grupo (2), se destaca por tener la más baja AREA (1 ha) aunque el segundo mayor rendimiento (3.035 Kg/ha), al igual que el segundo valor más alto de IFTA (COP \$7.629.412), mientras que el grupo (3) de productores se destaca por tener la segunda mayor área sembrada en aguacate (AREAA), aunque el más bajo rendimiento de todos (COP \$2.508 ton/ha), lo

que coincide con las menores CS, CE y IFTAA de COP \$1.063.712/ha, \$2.539.474/ha y COP \$1.294.737/ha, respectivamente.

El grupo (4) se destaca por tener la mayor AREAA promedio (2) aunque con un rendimiento bajo de 2.508 ton/ha y ninguna certificación en BPA, aunque sí presentan el PRECIOVP más alto, posiblemente debido a una situación coyuntural donde su cosecha coincide con los picos más altos de venta; por último, mientras que el grupo (5) de productores se destaca por tener las siembras más recientes, lo cual se refleja en que no presenta aún PT, PRECIOVP y IFTAA; el hecho que el 66.6% de ellos tenga un nivel educativo superior, muestra que son productores que no dependen exclusivamente de la actividad agrícola para sobrevivir.

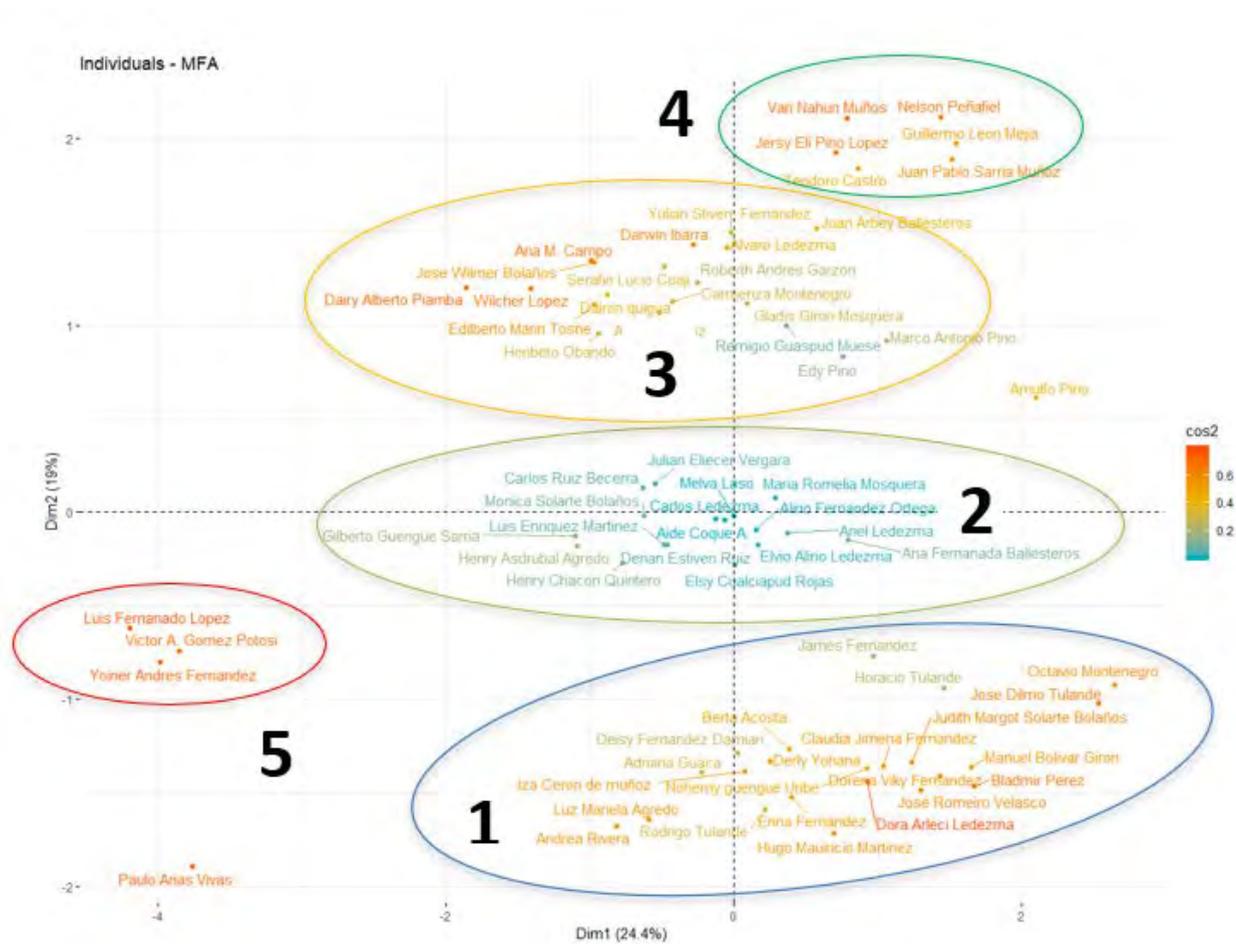


Figura 5. Gráfico de Análisis Factorial Múltiple por individuos, productores en el estudio del municipio El Tambo.

Fuente: Autores

Para el caso de Popayán, (Figura 6), se observó una agrupación entre los productores más influenciada por las variables productivas y BPA donde se nota la influencia de los grupos de variables que conforman los ejes factoriales; de este modo, el grupo (1) no posee certificaciones en BPA ni buenas características productivas, mientras que el grupo (2) se destaca por tener buenas características productivas y vender sus productos al mercado informal, pero no están certificados en BPA, mientras

que el grupo (5) sí está certificado en BPA, pero con bajas características productivas y ventas nulas pues tienen siembras recientes. Por otra parte, el grupo (3) comparte con el grupo (2) unas buenas características productivas al igual que la mayoría de las ventas en el mercado informal, pero la mayoría si están certificados en BPA. Por último, el grupo (4), es el que presenta mayores valores productivos, económicos y de BPA, coincidiendo con la orientación de los ejes factoriales.

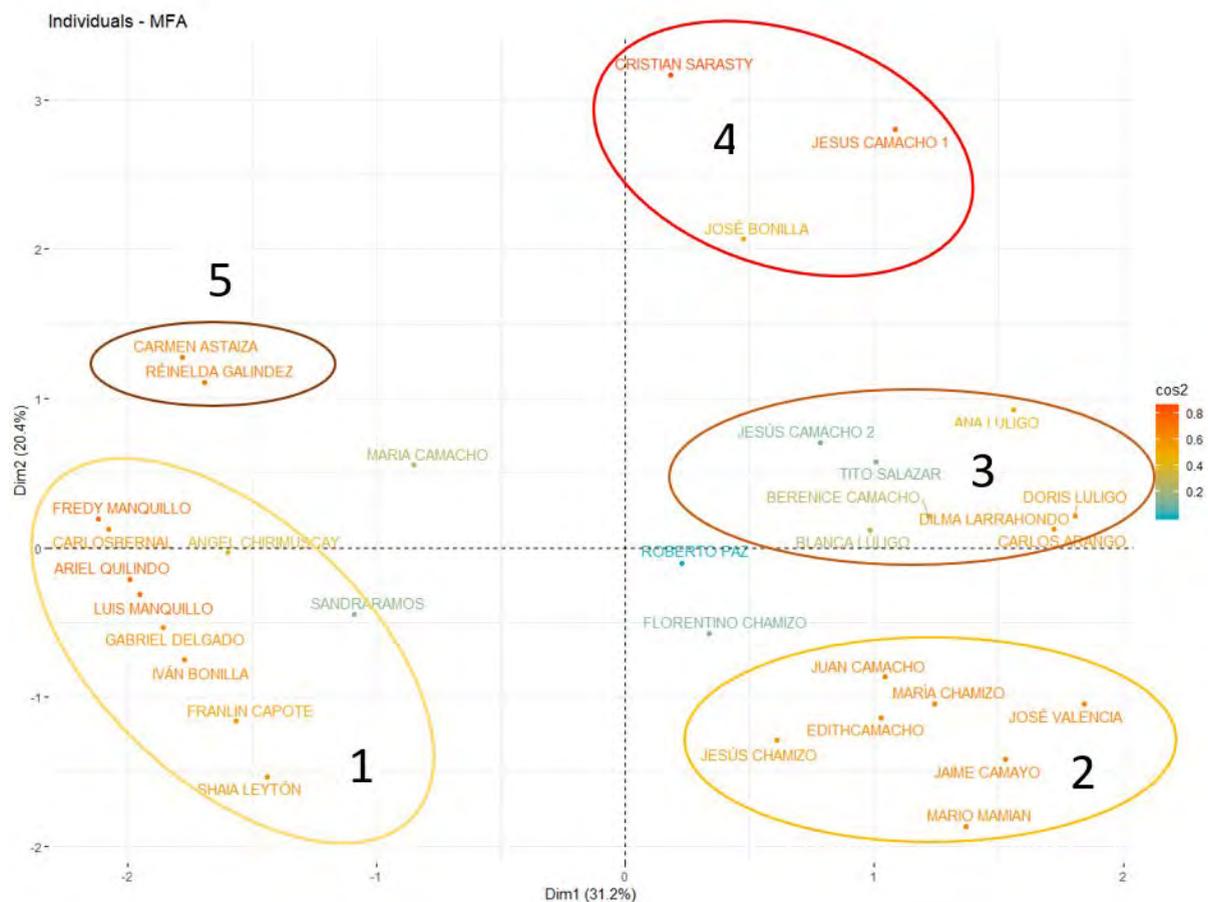


Figura 6. Gráfico de Análisis Factorial Múltiple por individuos, productores en el estudio del municipio de Popayán.

Fuente: Autores

4. CONCLUSIONES

Aunque las entidades de apoyo a la agricultura cuentan con instrumentos de diagnóstico de las fincas como el RUAT y las listas de chequeo en BPA del ICA, que contienen un amplio número de variables en distintas áreas transversales, se requiere mejorar el manejo de estos datos para generar información de valor para el sector.

Con los resultados obtenidos a través de los análisis estadísticos múltiples aplicados, se encontró que, de las dieciocho variables colectadas de los productores, ocho de ellas pueden ser utilizadas para la formación de

otros tipos de indicadores de ayuda en la búsqueda de estrategias que favorezcan la toma de decisiones con respecto a aguacate hass para pequeños productores de manera sostenible al territorio.

Al mismo tiempo que se analizan indicadores de desempeño más exactos para el sector agrícola, se hace necesaria la implementación de sistemas de información que faciliten la captura, almacenamiento y procesamiento de los datos obtenidos de las fincas y su interacción con los asistentes técnicos.

Se espera que a medida que se acumule una mayor cantidad de datos de las fincas, la robustez de las pruebas y de los modelos como el de Tukey y la Regresión Lineal mejoren, permitiendo establecer indicadores de mayor confiabilidad.

El uso de técnicas de análisis multivariante como clúster, análisis de componentes principales y Biplot, se perfilan como las mejores herramientas para representar las interrelaciones entre las variables de interés y las observaciones.

Se resalta también la necesidad de sensibilizar a los productores y a las entidades de acompañamiento a la agricultura en la importancia de recoger y usar los datos de sus actividades como insumo principal para mejorar el desempeño de las fincas y la toma de decisiones. Así, por ejemplo, en un diagnóstico realizado a 13 UMATAS del departamento del Cauca en el año 2016, se evidenció que los factores más críticos para estas entidades son el recurso humano, la información y tecnología para la asistencia técnica y la planeación del desarrollo rural (Salamanca, 2014).

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer autor: Metodología, investigación, análisis de datos, escritura del borrador original. **Segundo autor:** Conceptualización, análisis de datos, revisión y edición. **Tercer autor:** Revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al programa Innovación Cauca a través del cual se financió el proyecto de investigación: "Optimización del proceso de asistencia técnica y aumento de la productividad para agricultores de zonas rurales de Popayán y el Tambo, Cauca, a través de la articulación de la plataforma tecnológica web y móvil Kanpo y UNAD" el cual dio origen al actual trabajo, a la UNAD por el personal de

apoyo, a la empresa Kanpo SAS por poner a su disposición su plataforma web y móvil para la captura de datos, a Oscar Castaño por el apoyo en el procesamiento de las bases de datos e interpretación del AFM, a Jesús Camacho y Manuel Bolívar Girón por abrirnos las puertas de sus asociaciones, a Ana Julieth Caldón, Ana Fernanda Ballesteros y Juan Pablo Fernández por el apoyo en el trabajo de campo.

LITERATURA CITADA

- Armijo, M. (2011). Planificación estratégica e indicadores de desempeño en el sector público. CEPAL, Serie Manuales, No. 69. Recuperado de http://bibliotecadigital.seplan.planejamento.gov.br/bitstream/handle/iditem/504/06%20Planificacion%20y%20indicadores_ILPES.pdf?sequence=1
- Cock, J. (2007). Sharing commercial information. In: Innovation Workshop for the Agricultural Sector: Site Specific Agriculture based on Sharing Farmers Experiences, CIAT, Cali, Colombia, October.
- Clavijo, N. (2008). Transferencia de tecnología [en línea]. Colección apuntes de clase. Bogotá, D.C.: Editorial Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de <https://isfcolombia.uniandes.edu.co/images/documentos/9dejulioclavijo.pdf>
- De la Fuente, S. (2011). Análisis factorial. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad Autónoma de Madrid. Recuperado de <http://www.fuenterrebollo.com/Economicas/ECONOMETRIA/MULTIVARIANTE/FACTORIAL/analisis-factorial.pdf>
- Escofier, B., y Pagès, J. (2008). Analyses factorielles simples et multiples. Objectifs méthodes et interprétation (pp. 328-p). Dunod.
- Gonzales-García, N., & Taborda, A. (2015). Análisis de componentes principales SPARSE. Formulación, algoritmos e implicaciones en el análisis de datos. [Tesis de maestría]. Salamanca, España: Universidad de Salamanca.
- Idrobo, C. (2013). Aguacate Hass, un motor de desarrollo en el Cauca. Diario del Cauca. Recuperado de <http://diariodelcauca.com.co/aguacate-hass-un-motor-de-desarrollo-en-el-cauca-90481>
- Jiménez, D., Cock, J., Satizábal, H. F., Pérez-Uribe, A., Barreto, M.A., Pérez-Uribe, A., Van Damme, P. (2009). Analysis of andean blackberry

- (rubus glaucus) production models obtained by means of artificial neural networks exploiting information collected by small-scale growers in colombia and publicly available meteorological data. *Computers and electronics in agriculture*, 69(2), 198–208. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.08.008>
- Jiménez, D., Cock, J., Jarvis, A., Garcia, J., Satizábal, H. F., Van Damme, P., y Barreto-Sanz, M. A. (2011). Interpretation of commercial production information: A case study of lulo (*Solanum quitoense*), an under-researched Andean fruit. *Agricultural systems*, 104(3), 258-270. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.10.004>
- Leal, J. (2016). CAMPO UNAD. Sembrando un país en red para la paz [en línea]. Recuperado de <https://www.unad.edu.co/>
- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffmann A., Giovannini E. (2005), "Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide", OECD Statistics Working Papers, 2005/03, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/533411815016>
- Rodríguez-Espinoza, H., Ramírez-Gómez, C., y Restrepo-Betancur, L. (2015). Nuevas tendencias de la extensión rural para el desarrollo de capacidades de autogestión. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(1), 31-42.
- Salamanca, M. (2014). Diagnóstico de 17 UMATAS del departamento del Cauca. Convenio ESAP-MADR 2014. Colombia: Escuela Superior de Administración Pública, ESAP.
- Satizábal, H., Barreto-Sanz, M., Jiménez, D., Pérez-Uribe, A., y Cock, J. (2012). Enhancing decision-making processes of small farmers in tropical crops by means of machine learning models. In *Technologies and Innovations for Development*, pp. 265–277. Springer.
- Solà, J. M. G., y María, J. (2003). Indicadores de gestión para las entidades públicas. en VIII Congreso Internacional del Clad sobre la reforma del estado y de la administración pública, Panamá (pp. 28-31).
- Soto, H., y Schuschny, A. R. (2009). Guía metodológica: diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3661/S2009230_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pages, J. (2004). Multiple factor analysis: Main features and application to sensory data. *Revista Colombiana de Estadística*, 27(1), 1.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

**Licencia de Creative Commons**

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

DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO FOLIAR EN PALMA DE ACEITE CON ESPECTROSCOPÍA EN EL INFRARROJO MEDIO (MIR) Y CERCANO (NIR) POR EL MÉTODO DE REGRESIÓN DE MÍNIMOS CUADRADOS PARCIALES DE COMPONENTES PRINCIPALES (PLS)

DETERMINATION OF FOLIAR NITROGEN IN PALM OF OIL WITH SPECTROSCOPY IN THE MIDDLE INFRARED (MIR) AND NEAR (NIR) BY THE REGRESSION METHOD OF MINIMAL PARTIAL SQUARES OF MAIN COMPONENTS (PLS).

¹Jhoan Jose Crespo Gonzalez, ²Orlando Simón Ruiz Villadiego, ³Karen Stefanie Ospino Villalba

¹Ingeniero Químico, MSc en Ciencias Agrarias.

²Químico, Msc en Ciencia y Técnica del Carbón, Profesor asociado, universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

³Ingeniera Agroindustrial, MSc. En Ingeniería.

¹jjcrespo@unal.edu.co; ²osruiz@unal.edu.co;

³ksospinov@unal.edu.co

RESUMEN

Contextualización: la determinación de nitrógeno foliar se utiliza como uno de los índices que mide la necesidad nutricional de la planta en los cultivos de palma de aceite. Para esta investigación, también fue de igual importancia enfocarse en la tendencia en general de los laboratorios llamada "química verde", la cual se centra en minimizar el uso de reactivos químicos en los diferentes análisis de laboratorio.

Vacío de conocimiento: mediante el uso de espectroscopía de infrarrojo medio y cercano (MIR y NIR) se pretendió minimizar en gran

medida la generación de contaminantes producidos por el método de Kjeldahl, además de reducir los tiempos de análisis.

Propósito del estudio: determinar la cantidad de nitrógeno foliar mediante la construcción de modelos predictivos a partir de los espectros de infrarrojo medio y cercano para la determinación de nitrógeno foliar usando como referencia el método Kjeldahl.

Metodología: en el desarrollo del experimento se analizaron 198 muestras foliares de

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.3206>

palma y se tomaron sus respectivos espectros infrarrojos MIR y NIR. Cada uno de los espectros fue pretratado por diferentes métodos matemáticos para corregir efectos de dispersión de la radiación. En total se realizaron 8 pretratamientos a cada uno de los espectros, incluyendo los espectros crudos, que se tomaron a fin de elegir el mejor modelo de predicción tanto para los espectros NIR como para los espectros MIR.

Resultados y conclusiones: utilizando el pretratamiento de variable normal estándar (SNV) en el modelo se obtuvo un menor error de la predicción (RMSE) de 0,265 y un R² de 0,51 para el infrarrojo cercano y para el infrarrojo medio, el modelo formado con la absorbancia de los espectros sin pretratar arrojó valores de RMSE de 0,245 y un R² de 0,46. Aunque puede utilizarse de una forma general como modelo de predicción, se pueden observar puntos anómalos que amplían el error y disminuyen el R², a partir de estos datos se puede evidenciar la necesidad de clasificar de una mejor forma los grupos de muestras foliares y si es necesario realizar modelos de predicción para cada uno de los grupos.

Palabras clave: espectroscopia infrarrojo cercano (NIR); espectroscopia infrarrojo medio (MIR); análisis de nitrógeno foliar, palma de aceite; regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS); quimiometría.

ABSTRACT

Contextualization: The determination of foliar nitrogen is one of the criteria that measure the nutritional needs of the plant in oil palm crops. It is also of equal importance in this research to focus on a general trend in laboratories called "green chemistry", which focuses on minimizing the use of chemical reagents in different laboratory analyzes.

Knowledge gap: Using medium and near infrared spectroscopy (MIR and NIR), the intention was to greatly minimize the generation of contaminants produced by the Kjeldahl method, in addition to reducing analysis times.

Purpose: Determine the amount of foliar nitrogen by designing predictive models from the mid and near infrared spectra for the determination of foliar nitrogen using Kjeldahl as a reference method.

Methodology: In the development of the experiment, 198 palm leaf samples were analyzed and their respective MIR and NIR infrared spectra were taken. Each of the spectra was pretreated by different mathematical methods to correct for scattering effects of radiation. In total, 8 pretreatments were performed on each of the spectra, including the raw spectra. These were taken to choose the best prediction model for both NIR and MIR spectra.

Results and conclusions: Using the standard normal variable (SNV) pre-treatment in the model, an RMSE of 0.265 and an R² of 0.51 were obtained for the near-infrared and for the mid-infrared, the model formed with the absorbance of the untreated spectra yielded root mean square error (RMSE) values of 0.245 and an R² of 0.46. Although it can be used in a general way as a prediction model, anomalous points can be observed that increase the error and decrease the R², from these data the need to classify the groups of foliar samples in a better way and if it is necessary to make prediction models for each of the groups.

Key words: near infrared spectrophotometry (NIR); medium infrared spectrophotometry (MIR); foliar nitrogen analysis; oil palm; partial least squares regression (PLS); chemometric.

RESUMEN GRÁFICO

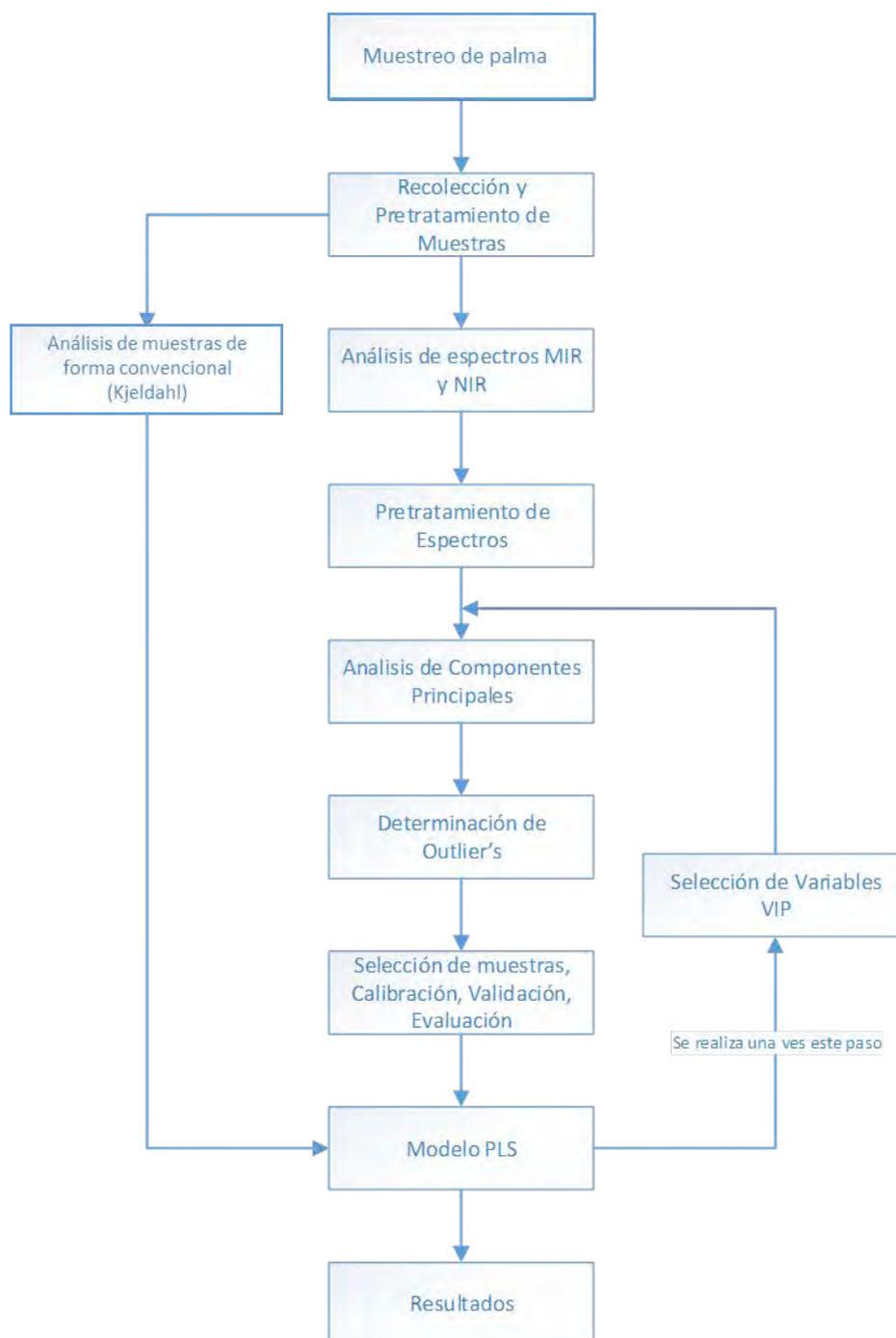


Figura 1. Diagrama del diseño del modelo de predicción. **Fuente:** autores.

1. INTRODUCCIÓN

Las hojas son estructuras fundamentales para el funcionamiento de las plantas, dado que realizan una función esencial para el mantenimiento de todas sus funciones fisiológicas, particularmente, la fotosíntesis; el elemento esencial de este proceso es el

nitrógeno, que forma parte de una de las moléculas más importantes de la tierra, la clorofila. Por lo tanto, este elemento se utiliza como un indicador fundamental del grado de nutrición y del estado general de la planta, junto con el fósforo (Lorén, 2013).

El análisis del tejido foliar es importante, ya que a través de este se define el estado nutricional de la planta y el nitrógeno es uno de los parámetros clave en los análisis foliares, puesto que está relacionado directamente con la cantidad de clorofila en las hojas, lo cual es fundamental en su crecimiento y nutrición (Lorén, 2013). El nitrógeno se puede encontrar en gran parte en las rocas ígneas, este no está disponible para las plantas en el mediano o corto plazo; también está presente en los océanos y en la atmósfera, puesto que se puede encontrar en gran proporción como N_2 que constituye el 78% del aire (Perdomo, 1999). Para que las plantas accedan a este son necesarios ciertos procesos de fijación mediante microorganismos, los cuales toman el nitrógeno atmosférico y lo transforman en formas de amonio de fácil absorción para la planta. Otra fuente de nitrógeno es la materia orgánica presente en el suelo que también lo contiene de forma disponible para las plantas (Perdomo, 1999).

La utilización de espectroscopía de infrarrojo medio (MIR) y cercano (NIR) ha tomado gran importancia en diferentes análisis como foliares y de suelos, estos métodos no destructivos no generan residuos y por tanto contribuyen al cuidado del medio ambiente, además reducen los costos del análisis asociado a los reactivos (PINEDA, 2007). Dichos métodos analíticos relacionan la absorbancia de la energía electromagnética con respecto a la concentración por medio de la ecuación de Lambert beer (Zafra, 2014; Mishra et al., 2017; Nicolai et al., 2007).

La espectroscopia infrarroja cercana se enfoca en el rango del espectro electromagnético entre los 770 nm hasta los 2500 nm y se caracteriza por mostrar sobretonos y vibraciones moleculares, enfocándose en los enlaces de ciertas moléculas con hidrogeno, como C-H, N-H, O-H y S-H. En cuanto a la espectroscopia infrarroja media se basa en vibraciones fundamentales, además de las vibraciones C-H, N-H y O-H. También se muestran enlaces dobles y triples C=C, $C\equiv C$, C=O, C=N entre otros (Fourozangohar, 2009).

Para la comprensión y el análisis de los datos obtenidos es necesario el uso de la quimiometría, que permite la creación de modelos descriptivos y predictivos mediante métodos matemáticos y estadísticos (Olivieri, 2011).

En el análisis de espectros se producen diferentes efectos aditivos y multiplicativos de la señal generalmente ocasionados por el tamaño de partículas, humedad, temperatura o características del equipo. Estos efectos pueden ser disminuidos por pretratamientos matemáticos del grupo de muestras (Galea, 2015), métodos como la corrección del efecto multiplicativo de la dispersión (MSC) (Maleki, et al., 2007), variable normal estándar (SNV) (Cárdenas, 2012) o suavizado de Savitzky-Golay con 1° y 2° derivada (SG-1, SG-2), que son las más utilizadas y ayudan a disminuir el ruido de la señal producido por el equipo (Sila, 2016).

Los métodos descriptivos se definen generalmente como métodos no supervisados, es decir, no se tiene un conocimiento previo sobre las muestras, por tanto, el investigador deberá explicar los grupos formados, como por ejemplo el análisis de componentes principales (PCA) y análisis Clúster (Roggo, et al., 2007). Los métodos predictivos permiten modelar propiedades de un sistema para predecir el comportamiento de una o más variables

(Olivieri, 2011), estos métodos se consideran supervisados ya que se tiene un conocimiento previo del valor de referencia de la variable por predecir, para lo cual se utiliza un conjunto de muestras, llamadas de entrenamiento o calibración, que permiten la construcción del modelo predictivo, entre estos, el modelo de mínimos cuadrados parciales (PLS) (Roggo, et al., 2007; Mevik, 2016).

Es importante resaltar que se deben analizar todas las muestras para identificar aquellas que están muy diferenciadas del grupo mayoritario, con el fin de eliminarlas y obtener un modelo sea más preciso. Esta identificación se realiza con los valores de las muestras en los componentes principales, mediante la distancia entre muestras. Para este propósito, existen estadísticos como T^2 de Hotelling o el estadístico Q , que identifican muestras anómalas o *Outliers* (Penha 2001). Es importante además de la identificación de las muestras anómalas, la selección de grupos de calibración y evaluación del modelo, pues la utilización de las mismas muestras, para calibración y para validación del modelo, tiende a generar un sobreajuste de este, debido a que si se evalúa con una nueva muestra, el modelo es ineficiente en su predicción. En este sentido, es recomendable la implementación de métodos de selección de grupos como Kenard-Stone y Duplex, que ayudan a disminuir el sobreajuste y evitar un sesgo en la selección de muestras (Borovicka, 2012).

Para la construcción de un modelo robusto es necesario implementar los pasos anteriormente mencionados, además de incluir la selección de variables con un método de importancia de la variable de proyección (VIP), el cual se encarga de eliminar las variables que no están relacionadas con la variable por predecir. Todos estos procedimientos cuantitativos colaboran en el desarrollo de un

modelo robusto y confiable capaz de analizar cada detalle evaluado que permita seleccionar el modelo que tenga la mejor correlación (r^2) y el menor error de la predicción (RMSE). Con este sistema se pretende crear un modelo robusto, donde todo el sistema de selección, clasificación, y agrupación de las muestras sea bajo criterios que garanticen el no sobreajuste del sistema, lo cual hace que el modelo sea mucho más ajustado a la realidad en el caso de tomar nuevas muestras.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras y pretratamientos

Las muestras de palma de aceite fueron suministradas por el Laboratorio certificado "Dr. Calderon Labs." (<http://www.dr-calderonlabs.com/>), en total se recolectaron 198 muestras seleccionadas de diferentes partes del país, debido a la política de protección de la información del laboratorio, no se puede obtener características específicas que pudieran ser útiles.

Según el procedimiento de preparación de muestras del laboratorio "Dr Calderon Labs", se tomaron 100 gr de muestra y se sometieron a un secado en estufa durante 24 a 48 horas a una temperatura entre 60°C y 80°C. Después, las muestras se molieron y tamizaron con un tamiz de 2 mm, seleccionando fracciones < 2 mm.

Análisis Químico

Los análisis de nitrógeno total de las muestras foliares de palma de aceite se realizaron en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional, aplicando el método de Kjeldahl referenciado en el Soil Survey Laboratory Methods Manual (Versión 03,1996): 3A1, 6B. Los equipos utilizados en el análisis fueron un digestor de muestras marca VELP, un destilador automático Kjeltex 8200 marca FOSS y por último una bureta de titulación digital marca BRAND.

Adquisición de Datos Espectrales

Para obtener los datos espectrales, se tomaron los espectros MIR y NIR. Para los espectros MIR, se requirió la formación de la pastilla de KBr. La relación de KBr con respecto a la muestra fue de 100:1 mg, respectivamente, que previamente se pesó y maceró en el laboratorio de suelos. Para la lectura de los espectros se pelletizó la muestra con un equipo diseñado para tal fin, el cual proporciona una presión de 2 toneladas/cm² por 30 segundos. Se utilizó un equipo FT-IR "Spectrum Two DTGS" de la empresa PerkinElmer, con un rango de medición de 4000 cm⁻¹ a 500 cm⁻¹, una resolución ($\Delta x=1$ cm⁻¹) y se programó para que tomara 16 espectros de la misma muestra y reportara el espectro promedio.

La obtención de los espectros NIR se realizó en un equipo NIRMasteR, de la marca Buchi, el cual es controlado mediante los programas NIRWare y NIRCal. Para cada muestra se tomaron 16 espectros, reportándose como resultado el espectro promedio. El rango de medición es de 10000 cm⁻¹ a 4000 cm⁻¹, con una resolución ($\Delta x=4$ cm⁻¹). Las muestras se colocaron en un portamuestras de vidrio y se esparcieron con el fin de formar una capa de material que no permitiera el paso de luz a través de la muestra. Es decir, se utilizó el modo de reflectancia difusa.

Modelamiento

El modelamiento para la determinación de nitrógeno foliar se realizó mediante el seguimiento del diagrama que se muestra en la Figura 1. Se recolectaron las muestras y se analizaron por el método tradicional y se tomaron los espectros NIR y MIR para finalmente proceder al pretratamiento de los espectros.

Todo el proceso quimiométrico se realizó a través del programa estadístico "R". Para la corrección de efectos de dispersión de la

señal, se utilizaron en total 8 pretratamientos de señales adicionales a la señal de absorbancia sin pretratamiento.

Los pretratamientos utilizados fueron: 1° y 2° derivada de Savitzky-Golay, en las cuales se utilizó un tamaño de ventana de 13 puntos y se siguió un polinomio de ajuste de segundo orden (Nicolai, 2007; Jiang, 2017); Corrección del efecto multiplicativo de la dispersión (MSC); variable normal estándar (SNV) y las combinaciones de pretratamientos ("Savitzky-Golay 2 + MSC", "Savitzky-Golay 2 + SNV", "MSC + Savitzky-Golay 2", "SNV + Savitzky-Golay 2") (Rinnan, et al., 2009).

Con los datos recolectados del PCA, se realizaron las pruebas estadísticas para la determinación de muestras atípicas (*outliers*) que fueron el estadístico Q y el estadístico T2 de Hotelling, cada uno con funciones particulares. El estadístico Q se encarga de reconocer los valores atípicos fuera del modelo, mientras que el estadístico T2 se encarga de los valores atípicos dentro del modelo. Con esto se busca rechazar las muestras que estén por fuera del límite de confianza del 95% ($\alpha=0,05$). Estas muestras se consideran *outliers* y se descartan de la formación del modelo. Este conjunto de muestras varía dependiendo del pretratamiento (Penha 2001).

La selección de las muestras de calibración, validación y evaluación se seleccionaron mediante una variante del método de Kennard-Stone. La selección de muestras en los grupos anteriormente mencionados es importante para la calidad del modelo de predicción y evitar en sobreajustes del modelo (Borovicka, 2012). El método de Kennard-Stone selecciona las muestras por medio de las distancias entre estas (Kennard, 1969), las cuales se calculan con los puntajes del análisis de componentes principales y adicionalmente con la ecuación de Mahalanobis la cual incluye el valor propio de cada componente

(Cao, 2013). Se utilizó el método Dúplex (Snee, 1977), que selecciona de forma intercalada las muestras de calibración y validación.

Para la validación cruzada del modelo se utilizó "Leave One Out" (LOO) (Botero, et al., 2009), del cual se toma el mejor modelo de predicción. Para obtener el número óptimo de componentes principales y se realizó a través de la Raíz cuadrada de los errores cuadráticos Medios (RMSE) del grupo de datos de validación (Riccioli, 2011).

Obtenido el modelo con el número óptimo de componentes se procedió a determinar valores predichos con el grupo de datos de evaluación. Como criterio de evaluación se tomó el RMSE y el coeficiente de determinación R² (Riccioli, 2011), después se seleccionaron las variables independientes con mayor importancia mediante el método de "importancia de la variable de proyección" (VIP). De igual forma se determinó el RMSE y el R² del grupo de evaluación.

Para cada uno de los pretratamientos utilizados, se determinó un modelo óptimo, siguiendo los pasos mencionados anteriormente de forma individual. Se recopilaron todos los datos de cada uno de los pretratamientos, con y sin la selección de variables importantes y

posteriormente se eligió el mejor modelo, teniendo como criterio de selección los valores bajos de RMSE y Valores altos de R².

El proceso de modelamiento se realizó siguiendo las bases teóricas mediante el programa estadístico "R", este programa posee diferentes paquetes estadísticos para el procesamiento de los datos (Hewson, 2009). Se realizó un código que sigue los pasos establecidos en la Figura 1. Debido al código realizado, en cada paso del algoritmo, los resultados se almacenan en carpetas según su proceso y según el pretratamiento espectral, obteniendo toda la información que pueden arrojar los procedimientos estadísticos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sobre las muestras de palma de aceite no se tiene ningún tipo de información: manejo agronómico, posibles especies diferentes, diferencias en el muestreo, fases fenológicas, etc. Esto con la intención de que el modelo tuviera un rango más amplio sobre las muestras a predecir. La distribución de frecuencias del contenido de nitrógeno se presenta en la **Figura 2**. El rango de variación es el siguiente: 1,52 – 4,38 %, con un valor promedio de 2,642%, y una desviación estándar de 0,39.

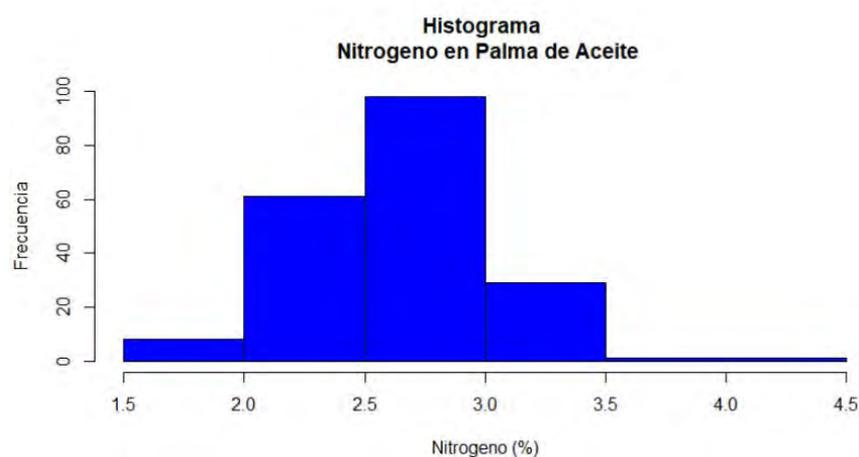


Figura 2. Histograma de frecuencias del contenido de nitrógeno en muestras foliares de palma de aceite.

Fuente: Autores

En la **Figura 2** se muestra la distribución de las concentraciones de nitrógeno en las muestras foliares, donde se observa que la distribución de las muestras presenta un comportamiento cercano a la distribución normal, lo que puede influir de manera relevante en el ajuste del modelo, y por tanto su resulte R^2 .

En la **Figura 3**, Los espectros NIR presentan un cambio notable en la línea base debido a los efectos multiplicativos de la señal. En general las señales presentan un comportamiento homogéneo, es decir que los efectos aditivos son muy pequeños en comparación a los efectos multiplicativos. Esto indica que es necesario realizar pretratamientos de línea base para disminuir el error en la selección de muestras anómalas (Rinnan et al., 2009).

Los espectros NIR en general, la zona 9091 a 7194 cm^{-1} , se relacionan con la presencia de

carbohidratos, lípidos y proteínas; la zona de 7194 cm^{-1} a 6024 cm^{-1} muestra una banda de absorción muy amplia asociada con el primer sobretono de la vibración del enlace O-H y de los puentes de hidrógeno intermoleculares de moléculas de agua; en la región de 6024 y 5348 cm^{-1} se muestra otra banda de absorción que se asocia con el primer sobretono del estiramiento simétrico y asimétrico del enlace C-H en grupos CH_2 y CH_3 , y se relacionan con la presencia de lípidos y proteínas. La siguiente banda de 5348 a 4963 cm^{-1} , se relaciona principalmente con el contenido de carbohidratos, primer sobretono de los enlaces OH; en la región de 4963 a 4484 cm^{-1} se presentan las combinaciones de las frecuencias de vibración de los enlaces C-H, N-H and C=O presentes en carbohidratos, lípidos y proteínas; igualmente, las bandas en las regiones de 4484 a 4237 cm^{-1} y 4237 a 4000 cm^{-1} (Westad, 2008).

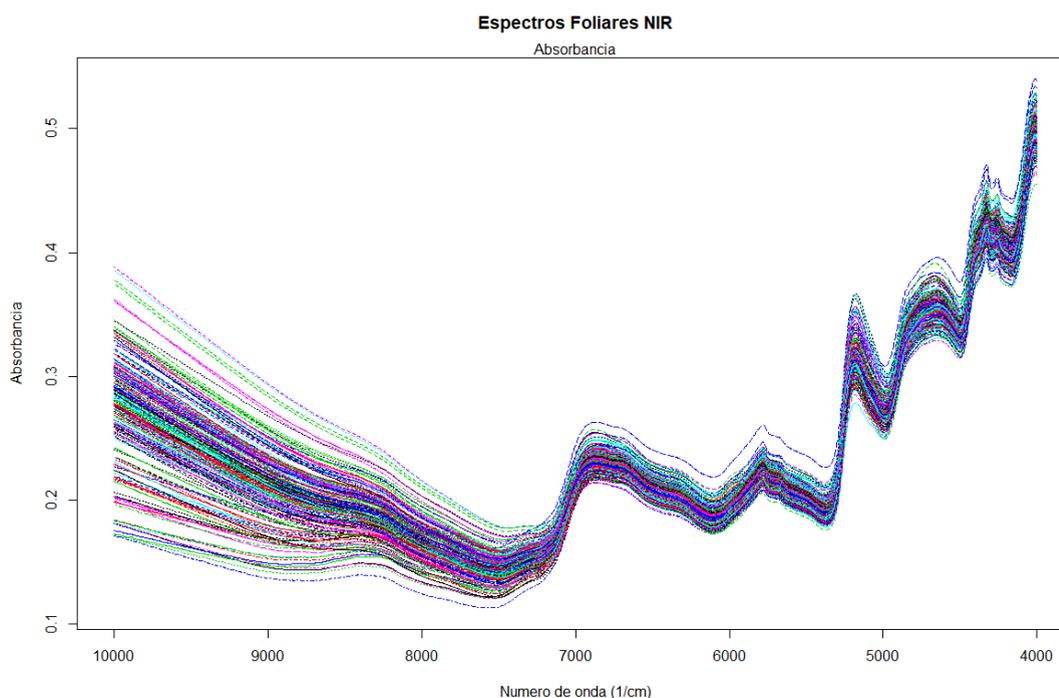


Figura 3. Espectros de Absorbancia NIR de las muestras de foliares de palma de aceite.

Fuente: Autores

El espectro de infrarrojo medio (MIR) de los tejidos foliares de las palmas de aceite (**Figura 4**) muestra las bandas de absorción características de los enlaces C-H (CH₂, CH₃, CH, aromático) en la región centrada a 2900 cm⁻¹; seguido por una banda muy amplia e intensa que se asocia con los estiramientos del enlace OH, formando puentes de hidrógeno intra e intermoleculares en la región centrada en 3400 cm⁻¹; en la región

desde el 1800 cm⁻¹ hasta los 1000 cm⁻¹ se encuentran las señales de los estiramientos y flexiones de los enlaces: C=N, N-H y C-N, C-O, C=O (Westad, 2008).

La línea base de los espectros MIR posee un pequeño efecto multiplicativo en comparación a los efectos aditivos, dichos efectos se resaltan en 3 muestras del grupo, las cuales sufren un desplazamiento aditivo muy pronunciado.

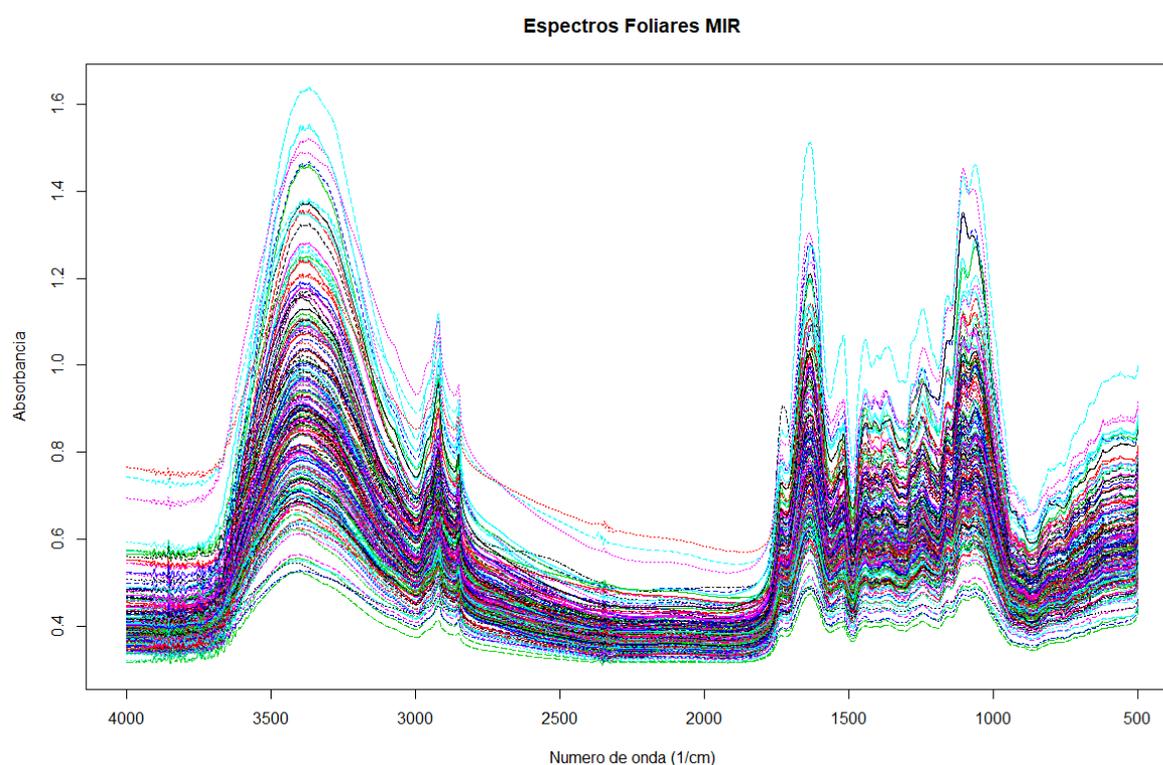


Figura 4. Espectros MIR de las muestras foliares de palma de aceite.

Fuente: Autores

En el análisis de componentes principales no se pudo realizar alguna comparación con respecto a alguna característica en común del grupo de muestras por no tener alguna información cualitativa de ellas, como lugar de procedencia, características del suelo, especie, entre otras. Lo que para el modelo puede tomar dos posturas, por un lado, al incluir dicha aleatoriedad en el sistema indica un rango más amplio de muestras a predecir con características

diferentes lo que impactaría de forma positiva el modelo, por otro lado, dependiendo de las características propias de las muestras, si difieren mucho entre sí, le agregan mayor variabilidad al modelo disminuyendo el R² afectando de manera negativa en modelo.

En la **Figura 5** los componentes principales 1 y 2 explican el 96,87% de la variabilidad de los datos y las muestras foliares presentan

un patrón de dispersión muy homogéneo. Sin embargo, en la parte central de la gráfica se pueden apreciar algunos grupos de muestras, pero su diferenciación en el gráfico no es muy clara. Adicionalmente, se pueden

observar varias muestras en la periferia del grupo señalado con la esfera de acotación; las cuales, posiblemente, presentan características anómalas.

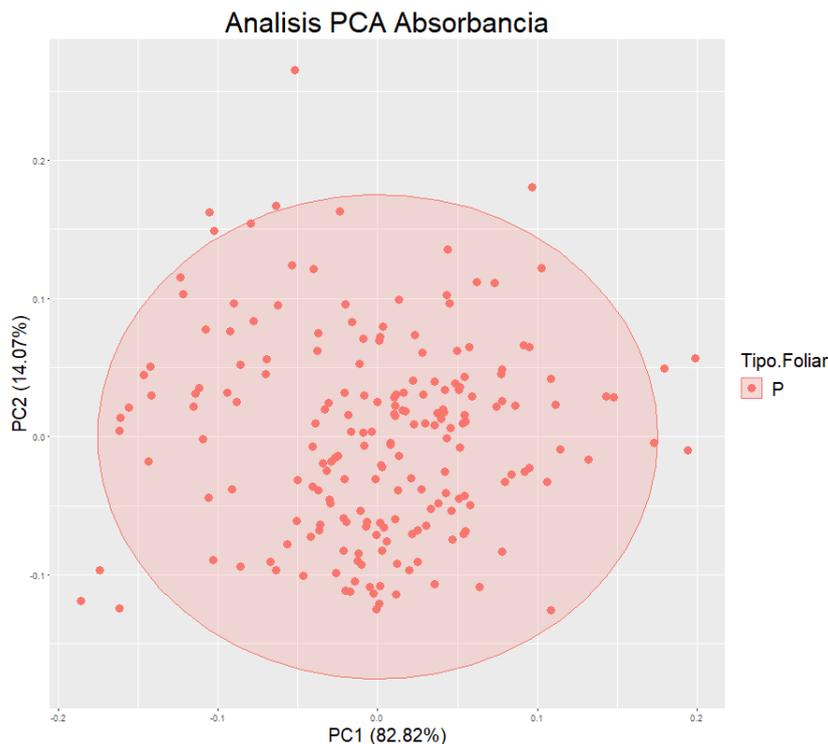


Figura 5. Gráfico de Scores del PCA utilizando los espectros NIR de muestras foliares de Palma de Aceite.

Fuente: Autores

Con el fin de analizar corroborar lo descrito en el análisis PCA se realizó el análisis clúster, para lo cual se utilizó el método de Ward como método de aglomeración. En esta etapa se evidencia tanto para el análisis clúster del NIR como del MIR un gran grupo de muestras que está formado por el 50% aproximadamente. En muchos casos, cuando se presentan este tipo de situaciones, estas muestras definen el comportamiento global del modelo. Si los otros grupos se diferencian mucho de este grupo principal, se recomienda construir modelos separados para cada grupo. Generalmente esto mejora el poder predictivo de los modelos para cada grupo de muestras.

En este trabajo se realizaron los diferentes pretratamientos con el fin de eliminar los efectos aditivos y multiplicativos de la señal, además de las diferentes combinaciones de pretratamientos como lo aconsejan Rinnan, et al., (2009) y Huang (2010), los cuales presentan diferentes alternativas de combinaciones. La combinación de los pretratamientos de corrección de efectos de dispersión (MSC, SNV), seguidos de la segunda derivada de Savitsky-Golay dieron mejores resultados al disminuir en gran medida la señal de ruido.

A cada uno de los 9 pretratamientos se les extrajeron las muestras anómalas y se formaron los

grupos de calibración validación y evaluación. Las muestras de calibración y validación fueron seleccionadas mediante el método Dúplex, mientras que el grupo de evaluación, que corresponde al 20% de las muestras, se forma de las muestras sobrantes de la selección de los otros grupos. Esto puede ser peligroso para la evaluación del modelo ya que puede sesgar la información.

En el diseño del modelo PLS se utilizó el grupo de calibración para la creación del modelo, el grupo de validación para escoger el número de componentes principales que necesita el modelo y disminuir el error de la predicción; y finalmente, el grupo de evaluación para observar la correlación entre los valores originales de nitrógeno obtenidos por el método kjeldahl y los obtenidos mediante la predicción del modelo.

Tabla 1. Resultado de la predicción para cada uno de los pretratamientos utilizando la espectroscopia NIR, sin selección de variables y con selección de variables

Pretratamientos	RMSE	R ²	RMSE con VIP	R ² con VIP
Absorbancia	0,276	0,2658	0,252	0,3747
Savitzky-Golay 1	0,344	-0,0877	0,261	0,3939
Savitzky-Golay 2	0,308	-0,263	0,31	0,0785
MSC	0,265	0,5123	0,304	0,5021
SNV	0,276	0,5109	0,301	0,4907
Savitzky-Golay 2 + MSC	0,283	0,1307	0,316	-1,038
Savitzky-Golay 2 + SNV	0,292	-0,1049	0,28	0,0452
MSC+Savitzky-Golay 2	0,339	0,3626	0,322	0,3263
SNV+Savitzky-Golay 2	0,281	0,4375	0,384	0,204

Fuente: autores

Tabla 2. Resultado de la predicción para cada uno de los pretratamientos utilizando la espectroscopia MIR, sin selección de variables y con selección de variables

Pretratamientos	RMSE	R ²	RMSE con VIP	R ² con VIP
Absorbancia	0,245	0,4581	0,279	0,293
Savitzky-Golay 1	0,254	0,2286	0,291	0,4464
Savitzky-Golay 2	0,343	0,1089	0,318	0,2891
MSC	0,306	-0,1053	0,227	-0,0803
SNV	0,287	-0,3219	0,318	0,017
Savitzky-Golay 2 + MSC	0,293	0,2871	0,372	-0,1476
Savitzky-Golay 2 + SNV	0,459	-0,1109	0,381	0,2156
MSC+Savitzky-Golay 2	0,342	0,3395	0,326	0,3913
SNV+Savitzky-Golay 2	0,28	0,3923	0,383	0,2127

Fuente: Autores

En las Tabla 1 y Tabla 2 se muestran los valores de la correlación entre los datos originales sobre el nitrógeno y los predichos por los modelos de cada uno de los pretratamientos realizados, tanto para los datos obtenidos con infrarrojo cercano (NIR) como para infrarrojo medio (MIR). En ambas tablas se puede notar que las correlaciones con VIP son generalmente menores que aquellas a las cuales no se le realizó la selección de variables. Por tanto, para este conjunto de datos se evidencia que la selección de variables no mejora la predicción del modelo, lo cual, es indiferente ya que el modelo toma el mejor acercamiento de los valores predichos, en todo caso, no se puede eliminar este paso del modelo ya que solo ha sido evaluado en un solo grupo de muestra, y no hay evidencia suficiente de que esta selección de muestra sea innecesaria.

El mejor modelo en el caso de la espectroscopia NIR fue con el pretratamiento MSC con un r^2 de 0,5123 y un RMSE de 0,265. Para el caso de espectroscopia MIR, el caso donde se creó el modelo con los espectros crudos obtuvo los mejores resultados, un r^2 de 0,4581 y un RMSE de 0,245. Tanto en los resultados de los modelos NIR como MIR se constata lo propuesto por Rinnan, et al., (2009). Es decir, para las combinaciones de pretratamientos es recomendable utilizar primero un pretratamiento de corrección de efectos de línea base seguido de las derivadas de Savitsky-Golay.

Los modelos obtenidos en general poseen un coeficiente de correlación pobre. Hay escasos documentos que relacionan los análisis de nitrógenos en muestras foliares, James y colaboradores (Jayaselan et al., 2017) muestra

que en la elaboración de un modelo de determinación de nitrógeno foliar de palma de aceite a partir de métodos espectroscópicos es fundamental el muestreo, ya que dependiendo de la hoja donde se tome la muestra puede o no haber una buena correlación de la predicción. Estos realizan diferentes correlaciones en diferentes tipos de hojas lo cual se muestra una excelente predicción en la hoja 17, es decir que se evidencia una variabilidad dependiendo de la hoja donde se tome el análisis foliar.

4. CONCLUSIONES

En general, la aplicación de la técnica descriptiva no supervisada PCA, en conjunto con el análisis clúster, evidencia que las muestras poseen poca relación. Cerca de la mitad de las muestras si tienen relación entre sí, lo que afecta notoriamente al modelo de predicción. Por otro lado, estos análisis cualitativos muestran de forma clara las diferencias entre las muestras, esto es de gran importancia ya que se puede ver con anticipación como la selección de muestras influye en un modelo adecuado.

Al tener un grupo con mucha variación, el procedimiento de muestras anómalas no es eficiente, ya que, dada la existencia de tantas muestras con alta variación, el sistema no alcanza a separarlas todas, quedando dentro del modelo parte de ellas. La selección de muestras anómalas de manera positiva selecciona de forma eficiente las muestras basándose en los criterios del Análisis de componentes principales.

Para la selección de los grupos de calibración, validación y evaluación el modelo garantiza una selección variada que garantiza que haya homogeneidad en los datos.

La determinación del nitrógeno foliar en palma de aceite, mediante la construcción de un modelo predictivo con las muestras analizadas, arrojó datos regulares sobre los análisis evaluados, probablemente debido a diferencias entre las muestras, o por factores como el muestreo, manejo agronómico, especie o ubicación del cultivo, entre otros.

A pesar de lo anterior, el modelo sí muestra robustez y una gran cantidad de información relevante en la caracterización y predicción de la modelo ajustada a la realidad y a la variabilidad de las muestras. Por consiguiente, es necesario obtener información específica acerca de las muestras y un mayor tamaño muestral, lo que garantiza un rango amplio en la concentración de nitrógeno, a fin de que el modelo tenga una mejor predicción, ya que al concentrarse una cantidad de muestras en un rango tan corto de nitrógeno hace que el R^2 del modelo sea muy sensible a pequeñas variaciones en los datos predichos.

En estos resultados también se detalla que el modelo PLS, al utilizar todas las variables predictoras, no disminuye de manera significativa el coeficiente de determinación, es decir que la variabilidad que aporta estas variables es menor; por tanto, queda a elección del investigador utilizar todas las variables o las VIP. Esto es de gran relevancia ya que muestra que con una cantidad menor de variables los valores de predicción se mantienen, dando paso a diseño de equipos más compactos y de menor costo para dicho análisis. Este proyecto abre de igual forma las puertas a la utilización de modelos más complejos de clasificación y predicción como SIMCA, PLS-DA, o Redes Neuronales.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer autor: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura – borrador original. **Segundo autor:** conceptualización, análisis de datos, supervisión, escritura – revisión y edición. **Tercer autor:** investigación, logística, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por el Centro de Desarrollo Tecnológico del Cesar (CDT).

LITERATURA CITADA

- Borovicka, T. (2012). Training Set Construction Methods. ... Sciences & Technologies: Bulletin of the ACM. Czech Technical University. Retrieved from <https://bit.ly/2zloGsH>
- Botero Herrera, J. M., Parra Sánchez, L. N., & Cabrera Torres, K. R. (2009). Determinación del nivel de nutrición foliar en banano por espectrometría de reflectancia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 62(2), 5089–5098. Retrieved from <http://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24919>
- Cao, N. (2013). Calibration optimization and efficiency in near infrared spectroscopy, 183. Retrieved from <http://lib.dr.iastate.edu/etd/13199/>
- Cárdenas, V. (2012). Use of NIR spectroscopy and multivariate process spectra calibration methodology for pharmaceutical solid samples analysis (Tesis de Master). Universidad Autónoma de Barcelona, Catalunya, España.
- Forouzangohar, M. (2009). Infrared Spectroscopy and Advanced Spectral Data Analyses to Better Describe Sorption of Pesticides in Soils (Tesis de Doctorado). University of Adelaide, Australia.
- Galea, F. (2015). Desarrollo de un modelo predictivo usando tecnología NIRs para determinar las extracciones del triticale de doble aptitud (forraje y grano). Universidad de Extremadura.
- Hewson, P. J. (2009). Multivariate Statistics with R. Multivariate Statistics with R. Recuperado de <https://www.semanticscholar.org/paper/Multivariate-Statistics-with-R-Hewson/3cc07941fecb82ae6cb3ec97ca4375c1b82c0b34>

- Huang, J., Romero-Torres, S., y Moshgbar, M. (2010). Practical considerations in data pre-treatment for NIR and Raman spectroscopy. *American Pharmaceutical Review*. Recuperado de: <https://www.americanpharmaceuticalreview.com/Featured-Articles/116330-Practical-Considerations-in-Data-Pre-treatment-for-NIR-and-Raman-Spectroscopy/>
- Jayaselan, H., Nawi, N., Ismail, W., Shariff, A., Rajah, V., y Arulandoo, X. (2017). Application of Spectroscopy for Nutrient Prediction of Oil Palm. *Journal of Experimental Agriculture International*, 15(3), 1–9. <https://doi.org/10.9734/JEAI/2017/31502>
- Jiang, Q., Li, Q., Wang, X., Wu, Y., Yang, X., y Liu, F. (2017). Estimation of soil organic carbon and total nitrogen in different soil layers using VNIR spectroscopy : Effects of spiking on model applicability. *Geoderma*, 293, 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.030>
- Kennard, R. W., y Stone, L. A. (1969). Computer Aided Design of Experiments. *Technometrics*, 11(1), 137–148. <https://doi.org/10.1080/00401706.1969.10490666>
- Lorén, F. J. (2013). Estudio de la fertirrigación nitrogenada con el inhibidor de la nitrificación 3,4 DIMETILPIRAZOLFOSFATO (DMPP) en melocotonero 'Miraflores' (Tesis de Doctorado). Universidad de Zaragoza, España.
- Maleki, M. R., Mouazen, A. M., Ramon, H., y De Baerdemaeker, J. (2007). Multiplicative Scatter Correction during On-line Measurement with Near Infrared Spectroscopy. *Biosystems Engineering*, 96(3), 427–433. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.11.014>
- Mevik, B.-H., Wehrens, R., y Liland, K. H. (2016). Partial Least Squares and Principal Component Regression. Packages R CRAN. Retrieved from <https://cran.r-project.org/web/packages/pls/pls.pdf>
- Mishra, P., Asaari, M. S. M., Herrero-Langreo, A., Lohumi, S., Diezma, B., y Scheunders, P. (2017). Close range hyperspectral imaging of plants: A review. *Biosystems Engineering*, 164, 49–67. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.09.009>
- Nicolaï, B. M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K. I., y Lammertyn, J. (2007). Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 46(2), 99–118. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.06.024>
- Olivieri, AC, Rivas, GA, (2011). Química Analítica en el siglo XXI: modelado de datos instrumentales y miniaturización de sistemas analíticos. *Ciencia Hoy*, 21, 51-56.
- Penha, R., & Hines, J. (2001). Using principal component analysis modeling to monitor temperature sensors in a nuclear research reactor. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.28.5158>
- Perdomo, C., y Barbazán, M. (1999). Nitrógeno, 70. Universidad de la República, Uruguay. Recuperado de <http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/publica/Tomo N.pdf>
- Pineda, V. M. (2007). Determinacion Del Contenido De Materia Organica En Suelos Guatemaltecos Por Medio De La Tecnica De Reflectancia Con Espectroscopia De Infrarrojo Cercano (Tesis de Pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Riccioli, C. (2011). Detección y cuantificación de la especie en harinas proteicas de origen animal mediante el uso de de sensores hiperspectrales (Tesis de Doctorado). Universidad de Córdoba, Córdoba, España.
- Rinnan, Å., Berg, F. van den, y Engelsen, S. B. (2009). Review of the most common pre-processing techniques for near-infrared spectra. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 28(10), 1201–1222. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2009.07.007>
- Roggo, Y., Chalus, P., Maurer, L., Lema-Martinez, C., Edmond, A., y Jent, N. (2007). A review of near infrared spectroscopy and chemometrics in pharmaceutical technologies. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 44(3 SPEC. ISS.), 683–700. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2007.03.023>
- Sila, A. (2016). Multivariate calibration techniques for infrared spectroscopy data (Tesis de Doctorado). University of Nairobi, Kenya.
- Snee, R. D. (1977). Validation of Regression Models: Methods and Examples. *Technometrics*, 19(4), 415–428. <https://doi.org/10.1080/00401706.1977.10489581>

Westad, F., Schmidt, A., & Kermit, M. (2008). Incorporating chemical band-assignment in near infrared spectroscopy regression models. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 16(3), 265–273. <https://doi.org/10.1255/jnirs.786>

Zafra, I. (2014). Potencial de datos espectrales NIRS “on-site” para la detección de desviaciones de producto en leche respecto al estándar de calidad y seguridad (Tesis de Maestría). Universidad de Oviedo, España.

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.

ELABORACIÓN Y VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO PARA MEDIR PRÁCTICAS SUSTENTABLES QUE CREAN VALOR EN ORGANIZACIONES AGRÍCOLAS

CONSTRUCTION AND VALIDATION OF A QUESTIONNAIRE TO MEASURE SUSTAINABLE PRACTICES THAT CREATE VALUE IN AGRICULTURAL ORGANIZATIONS

**¹Rosa Elena De Anda-Montaño, ²Raúl Portillo-Molina,
³Myrna Delfina López-Noriega, ⁴María de los Ángeles Cervantes-Rosas**

¹ Estudiante del Doctorado en Sustentabilidad, incorporado al PNPC del Conacyt, de la Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Guasave, Sinaloa, México.

² Doctor en Estudios fiscales por la Universidad Autónoma de Sinaloa, incorporado al PNPC del Conacyt. PTC investigador de la Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Guasave, Sinaloa, México.

³ Doctora en Administración por la Universidad del Sur. Investigadora de la Universidad Autónoma del Carmen, Ciudad del Carmen, Campeche, México.

⁴ Doctora en Administración por la Universidad Autónoma de Occidente, incorporado al PNPC del Conacyt. PTC Investigador de la Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Guasave, Sinaloa, México

¹rosa.deanda@udo.mx; ²raul.portillo@udo.mx;

³mdlopez@pampano.unacar.mx; ⁴maría.cervantes@udo.mx

RESUMEN

Contextualización: Guasave es un municipio ubicado en el noroeste de México, forma parte de las 18 municipalidades del Estado de Sinaloa, es considerada como una de las regiones más ricas en la actividad agrícola del país, de acuerdo con el volumen de producción y superficie sembrada a nivel nacional.

Vacío de conocimiento: el calentamiento global, la contaminación y erosión de suelos y aguas, han afectado gravemente a la

agricultura; por ello, es necesario que se instrumenten estrategias sustentables que permitan a este sector seguir desarrollándose. La importancia de este artículo recae en hacerle frente a la escasez de instrumentos que coadyuven a la creación de valor en empresas dedicadas a esta actividad, la implementación de éste permitirá obtener información empírica útil para la identificación de las prácticas sustentables que generan valor a las organizaciones agrícolas.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.3375>

Propósito del estudio: el objetivo de este artículo es dar a conocer el proceso de construcción y validación, así como divulgar el instrumento "Prácticas sustentables para la creación de valor en organizaciones agrícolas" del norte de Sinaloa, México.

Metodología: son 38 ítems de escala valorativa, organizados en las tres dimensiones de desarrollo sustentable y creación de valor los que integran el instrumento. El enfoque retomado fue el cuantitativo, la población objetivo fue de 32 organizaciones agrícolas del municipio para la prueba de fiabilidad mediante el coeficiente de consistencia interna Alfa de Cronbach y 10 expertos para la validación.

Resultados y conclusiones: los resultados obtenidos permiten afirmar que el instrumento es apropiado para medir las prácticas sustentables que crean valor en las organizaciones agrícolas de la parte norte de la entidad, al determinarse un coeficiente de 0.941 y una pertinente validez.

Palabras Claves: creación de valor; fiabilidad; agricultura; sustentabilidad y validez.

ABSTRACT

Contextualization: Guasave is a municipality located in the northwest of Mexico, it is part of the 18 municipalities of the State of Sinaloa, it is considered one of the richest regions in the country's agricultural activity, according to the volume of production and nationally sown area.

Knowledge gap: The global warming, the pollution and erosion of soils and waters have

seriously affected agriculture; therefore, it is necessary to implement sustainable strategies that allow this sector to continue developing. The importance of this article lies in addressing the shortage of instruments that contribute to the creation of value in companies dedicated to this activity. The implementation of this will allow us to obtain useful empirical information for the identification of sustainable practices that generate value for agricultural organizations.

Purpose: The purpose of this article is to publicize the construction and validation process, as well as to disseminate the instrument "Sustainable practices for value creation in agricultural organizations" in northern Sinaloa, Mexico.

Methodology: There are 38 items of value scale, organized in the three dimensions of sustainable development and value creation that make up the instrument. The approach used was quantitative, the target population was 32 agricultural organizations in the municipality for the reliability test using Cronbach's Alpha internal consistency coefficient and 10 experts for validation.

Results and conclusions: The results obtained allow us to affirm that the instrument is appropriate to measure the sustainable practices that create value in the agricultural organizations of the northern part of the entity, when determining a coefficient of .941 and a pertinent validity.

Keywords: creation of value; reliability; agriculture; sustainability and validity.

RESUMEN GRÁFICO



Figura 1. Principales prácticas sustentables que generan valor a las organizaciones agrícolas.

Fuente: Autores

1. INTRODUCCIÓN

Las prácticas sustentables en organizaciones agrícolas son una alternativa para que dichas asociaciones basen su quehacer en los ejes económico, social y ambiental para el cumplimiento de los 17 objetivos del desarrollo sustentable (Carro, Reyes, Rosano, Garnica y Pérez, 2017; Čater, et al., 2009; Jane, 2013, Rodríguez y Ricart 2010; Paternoster, 2011; Leal, 2009) y con ello contribuir a garantizar el futuro de la humanidad (Bell & Morse, 2018); retribuyendo a la sociedad el cuidado del entorno por permitirles desarrollar su actividad y generando beneficios económicos; garantizando la permanencia en el mercado, generando valor a sus intangibles a través de su imagen y reputación (Carmona y

Magán, 2008; Orsato, 2006; Rodríguez y Ricart, 2000; Carro *et al.* 2017; Carrillo, 2011; Hart y Milstein, 2003 y Zulueta et al., 2013).

En ese sentido, la propuesta de triple línea de balance (término concerniente a los negocios sostenibles que hace referencia al impacto que la actividad de una empresa tiene en las tres dimensiones: económica, social y ambiental (Henriques y Richardson, 2013) señala las directrices en las cuales tienen que desempeñar sus actividades cualquier empresa que pretenda laborar bajo el Desarrollo Sustentable (DS) (Escobedo y García, 2018), dando lugar al concepto de Sustentabilidad Corporativa (SC) (Elkington, 1994).

En este sentido, y con base en lo expuesto, las prácticas sustentables son una herramienta fundamental para el logro de la SC. Como resultado de esta indagación, las principales acciones llevadas a cabo por las organizaciones agrícolas del norte de Sinaloa son: proporcionar salarios, aguinaldos y reparto de utilidades por arriba de lo establecido por la ley (eje económico); contratar personas sin hacer distinciones de género, priorizar conocimientos y habilidades para asignar puestos y valorar la opinión de sus colaboradores para mejora de la organización (eje social), y por último, tener programas para minimizar residuos, así como participación en programas responsables de eliminación de envases de agroquímicos y reutilizar o reciclar productos o materiales (eje ambiental).

Ahora bien, al hablar de la actividad principal de estas organizaciones, la agricultura es fundamental para los países al garantizar la seguridad alimentaria, es fuente de ingresos y empleos, además de formar parte de cadenas agroalimentarias de producción (Molina y Victorero, 2015; Corona, 2016; IAEA, 2012). En México, esta actividad es significativa dentro de las actividades primarias, aportando en gran medida al desarrollo del país: solamente en el 2015, aportó aproximadamente un 63 por ciento del total aportado al Producto Interno Bruto (PIB) por ese sector primario, fruto de sus más de 27 millones de hectáreas que operan como superficie agrícola, generando casi ocho millones de empleos (Corona, 2016; SAGARPA, 2016).

De esos datos estadísticos, el Estado de Sinaloa destaca por ser es una de las entidades con mayor producción agrícola del país, al destinar 1,2 millones de hectáreas a esta actividad, produciendo más de 12 millones de toneladas de alimentos (CODESIN, 2017). Dentro del Estado, en el municipio de Guasave, esta

actividad es la principal fuente de ingresos y empleos, generando en el año 2015 un valor de producción de cerca de 3.691 millones de pesos mexicanos (SIAP, 2018).

En relación a la problemática de esta actividad, distintas investigaciones han comprobado que el rendimiento de la producción ha disminuido debido a que la superficie está cada vez más erosionada y contaminada por el uso indiscriminado de productos químicos, tales como fertilizantes, plaguicidas, pesticidas, entre otros (Jaramillo *et al.*, 2007; Sinergia, 2009); además el uso desmedido de productos químicos ha generado graves alteraciones tanto en ecosistemas como en organismos vivos (Martínez *et al.* 2016).

Es por ello, que las organizaciones agrícolas se han visto en la necesidad de buscar alternativas que disminuyan estos daños, todo esto hacia una búsqueda de incrementar su productividad y rentabilidad, sin olvidar el desarrollo sustentable de la región además de seguir aportando a la seguridad alimentaria (López, *et al.*, 2017).

Lo anteriormente expuesto abre la pauta para describir el objetivo principal de esta investigación al elaborar y validar un instrumento que permita identificar las prácticas que las organizaciones agrícolas de la región de Guasave, Sinaloa, México han implementado para creación de valor garantizando su permanencia en el mercado y el cuidado el medio ambiente.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La población de estudio incurrió en los 32 dirigentes de organizaciones agrícolas del Municipio de Guasave, Sinaloa, México; registrados en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Se aclara que, por ser una población

pequeña, no se calculó ninguna muestra ya que fue posible recabar la información del total de la población estudio.

El enfoque que se retomó fue el cuantitativo no experimental, en su modalidad de exploratoria-descriptiva y correlacional, esto atendió las características de un fenómeno existente poco estudiado, como es la implementación de las prácticas sustentables y su impacto en la creación de valor por parte de las organizaciones estudiadas (Hernández, et al., 2010; Salkind, 1999).

El cuestionario fue aplicado en formato impreso, entregado de forma personal a los sujetos de estudio, aprovechando la ventaja que el contacto directo concede, permitiendo que se obtuvieran los resultados en un periodo corto de tiempo, aproximadamente 45 días.

Análisis estadístico

En cuanto al análisis de los datos que permiten revelar la fiabilidad y validez del instrumento, se utilizó el Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (*Statistical Package for the Social Sciences, SPSS*), versión 25 de IBM.

Para conocer la fiabilidad del cuestionario, el cual mide el grado en que la medida de una variable está libre de error aleatorio (Quero, 2010), se utilizó el Alpha de Cronbach, tomando como parámetros que, a mayor valor de Alfa, mayor fiabilidad. Los rangos de Alpha oscilan de 0 a 1, donde, para las ciencias sociales, 0.80 se considera un valor aceptable (Bojórquez et al., 2013; Quero, 2010; y Celina y Campo, 2005). De igual forma, se obtuvieron las medidas descriptivas de media, varianza, y la prueba estadística de correlación de cada uno de los ítems.

Para medir la validez del instrumento se contó con la opinión de 10 expertos tanto académicos

como profesionales, quienes evaluaron la pertinencia y claridad de los ítems que forman el instrumento, mediante una encuesta con una escala de Likert de 5 opciones, donde 1 es igual a "nada pertinente/claro"; 2: "poco pertinente/claro"; 3: "normal, regular, ni bien ni mal"; 4: "pertinente/claro" y 5: "muy pertinente/claro", en esta prueba se utilizaron la media y desviación estándar como pruebas estadísticas, con un nivel de significancia de 5%, un nivel de confianza del 95% y un valor de decisión de Si $p \leq 0,05$ se rechaza la validez del instrumento.

a) Proceso de diseño y construcción del cuestionario

Este instrumento recabó la opinión de los directivos de las organizaciones agrícolas, sobre las diversas prácticas de sustentabilidad que llevan a cabo y que han funcionado para la creación de valor a sus organizaciones, el cual se aplicó a directores, gerentes y/o jefes de áreas.

La estructura del cuestionario se caracterizó por:

- Un bloque con variables descriptivas de identificación, "información general de la organización" que comprenden los ítems del 1 al 8, que en su mayoría son preguntas abiertas.
- Dos bloques de contenido, el primero, con 23 ítems de escala valorativa, los cuales permiten recoger las prácticas de sustentabilidad llevadas a cabo en la organización; y el segundo, con la misma escala, recolecta información acerca del valor creado a partir de las prácticas sustentables, este con 17 ítems. Para ambos bloques se retomó la escala de Likert de 5 grados, que van de totalmente de acuerdo a totalmente en desacuerdo.
- Un ítem fue destinado para medir la rentabilidad a través de rangos alcanzados por las organizaciones durante los tres años.

Como complemento a su estructura, fue necesario establecer dimensiones y subdimensiones de estudio, exclusivamente para los dos últimos bloques correspondientes a las variables de desarrollo sustentable y creación de

valor respectivamente (ver Tabla 1), las cuales fueron útiles para identificar las prácticas de cada uno de los ejes que conforman la sustentabilidad y su impacto en la creación de valor tanto tangible como intangible.

Tabla 1. Constitución del instrumento: bloques, dimensiones, subdimensiones e ítems.

Bloque	Dimensiones	Subdimensión	Ítems
1. Información general de la organización			1-8
2. Desarrollo Sustentable	Eje económico		9-14
	Eje social		15-22
	Eje ambiental		23-31
3. Creación de valor	Tangibles		32-34
	Intangibles	Imagen y reputación de la organización	35-37
		Cultura organizacional	38-46
		Lealtad de los clientes	47-49

Fuente: Autores.

b) Prueba Piloto

Con el fin de acercar el instrumento a la realidad, se procedió a realizar una prueba piloto a 5 colaboradores de organizaciones agrícolas de la región de Guasave, Sinaloa; seleccionadas a discreción del investigador del DENU, tomando como base el conocimiento principal de los encuestados, esto con la finalidad de detectar posibles inconsistencias en el instrumento.

Esta prueba piloto permitió realizar la prueba estadística de Alpha de Cronbach, la cual permite conocer el grado de fiabilidad del instrumento, permitiendo en caso de salir con un valor bajo, hace las adecuaciones necesarias para que este aumente y sea aceptado, es

decir, para que el instrumento sea considerado confiable.

c) Revisión por expertos

De un total de 10 expertos, se seleccionaron seis por su experiencia académica y el resto por su experiencia profesional y conocimiento práctico en el área de estudio, ambos grupos emitieron su juicio respecto a la pertinencia y claridad con la que se encuentran contruidos cada uno de los ítems que conforman el cuestionario, esto mediante una escala de Likert de cinco opciones.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Este aporte surge de la necesidad de crear un instrumento que cuente tanto con un valor de

fiabilidad y validez aceptable que recabe las opiniones relativas a las prácticas de sustentabilidad que contribuyan a la generación de valor dentro de las organizaciones agrícolas, con la predicción de ser aplicable en espacios con características similares. A continuación, se muestran los resultados que señalan su calidad en ambos aspectos:

a) Análisis de fiabilidad

Con el objetivo de determinar, en el instrumento original, y eliminar los ítems que generaban un impacto negativo se aplicó la prueba de fiabilidad de Alpha de Cronbach (Tabla 2), el valor obtenido de la prueba piloto fue de 0.939, lo que significa un valor elevado de fiabilidad.

Tabla 2. Prueba estadística Alpha de Cronbach en prueba piloto

Estadísticas de fiabilidad		
Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en elementos estandarizados	N de elementos
0,939	0,965	40

Fuente: Autores.

Sin embargo, para poder aumentar la fiabilidad del instrumento, se analizó la correlación a través "escala si se elimina el elemento" del software utilizado, encontrando que los ítems 13, 25 y 45 arrojan un valor negativo (véase Tabla 3), por lo tanto, fue necesario eliminar el primero y último de estos debido a que se relacionaban con otros ítems y presentaron valores positivos. El ítem 25 se consideró debido a que dio información referente a energías renovables.

Debido a los objetivos que se buscan en los primeros ocho ítems, el de identificar el sujeto de estudio, estos no fueron considerados en la prueba piloto, de igual forma el número 34 debido a que tiene como objetivo analizar la rentabilidad del ente económico y sus posibles respuestas fueron de opción múltiple y no en la escala de Likert. (Ver anexo tabla 3).

Posteriormente, se hicieron las modificaciones señaladas, con el fin de incrementar el valor de Alfa, se procedió a aplicar el instrumento al total de las organizaciones agrícolas, y se volvió a realizar el análisis, obteniendo como resultado un valor de 0,941, es decir se aumentó la fiabilidad

en dos milésimas y se erradicaron los ítems con valores negativos que sesgarían el instrumento.

b) Análisis de Validez

Salkind (1999) afirma que las investigaciones que utilicen como instrumento de recolección de datos un cuestionario estructurado es necesario que sea sometido a la prueba de validez, esto con el propósito de verificar que las variables midan lo que realmente se pretende medir. Retomando las diversas formas de validar el instrumento, se optó por validar su contenido, es decir, dar certeza a los ítems necesarios para poder dar respuesta los objetivos de la investigación (Delgado de Smith et al., 2002). Para hacer efectivo este tipo de validación es necesario que se haga a través del juicio de expertos (Soriano, 2014), con una gran experiencia profesional, académica y/o investigativa, relacionada con el tema de la investigación.

Para obtener los resultados de la validación del instrumento por expertos, fue necesario hacer uso herramientas de la estadística descriptiva, como la desviación estándar y la media. La Tabla 4 aprecia los resultados del análisis de validación por juicio de expertos.

Tabla 4. Media y desviación estándar de la pertinencia y claridad de los ítems

Dimensión	Subdimensión	Ítems	Pertinencia y claridad	
			Media	Desviación estándar
Desarrollo Sustentable	Eje Económico	9	4,10	0,876
		10	4,30	0,949
		11	4,50	0,972
		12	4,30	0,949
		13	n.a	n.a
		14	4,40	0,699
	Eje Social	15	4,40	0,699
		16	4,50	0,707
		17	4,30	0,675
		18	4,10	0,738
		19	4,70	0,483
		20	4,20	0,632
		21	4,30	0,675
		22	4,40	0,699
	Eje Ambiental	23	4,50	0,707
		24	4,60	0,966
		25	4,40	0,699
		26	4,30	0,949
		27	4,50	0,527
		28	4,60	0,516
		29	4,10	0,876
30		4,70	0,675	
31		4,50	0,707	
Creación de Valor	Tangibles	32	4,30	0,949
		33	4,50	0,527
		34	n.a	n.a
		35	4,50	0,527
	Intangibles	36	4,30	0,675
		37	4,70	0,483
		38	4,50	0,527
		39	4,20	0,632
		40	4,10	0,738
		41	4,60	0,699
		42	4,40	0,516
		43	4,20	1.033
		44	4,70	0,483
		45	n.a	n.a
		46	4,30	0,675
		47	4,50	0,707
		48	4,40	0,699
		49	4,70	0,483

Fuente: Autores.

Con base en las valoraciones de los expertos, se puede ver que, en la dimensión de DS, en lo que respecta al eje económico, todos los ítems han sido evaluados por encima de la categoría de pertinentes y claros, con medias con valores superiores a los 4,10 puntos; en cuanto al eje social, las medias señalan que los ítems considerados son pertinentes y claros y muy pertinentes/claros, ya que su valor oscilo entre 4.10 y 4.70; en el eje ambiental, en su mayoría están considerados como muy pertinentes/claros, siendo el ítem 20 el que de acuerdo a las evaluaciones obtuvo la menor media con 4.10, entendiéndose que la forma de expresar lo que se quiere cuestionar no está muy clara, pero de acuerdo a la escala es considerado como pertinente/claro, que es una media considerada aceptable para este análisis.

Para la dimensión de creación de valor, en la subdimensión de tangibles, todos los ítems han sido valorados como pertinentes/claros y/o muy pertinentes/claros, con medias superiores a 4,30. Por último, los intangibles obtuvieron valores que van de lo pertinente y claro, con medias de 4,10, a lo muy pertinente y claro, cuyas medias ascienden a 4,70, siendo valores aceptados y significativamente positivos para la validación del instrumento.

En general, el instrumento cumple con los criterios de pertinencia y claridad (García-Garnica, 2016), sustentado por la evaluación de los expertos, ya que todos los ítems se encuentran por arriba de la media con valor de 4,1 que se considera como pertinente/claro; de los 38 ítems considerados en la evaluación hecha por los expertos, 21 fueron valorados como "pertinentes/claros" y el resto como "muy pertinentes/claros"; es decir, con esto se cumple la validación de contenido mediante la valoración por expertos.

4. CONCLUSIONES

El cuestionario "Prácticas sustentables para la creación de valor en organizaciones agrícolas" ha sido elaborado con el objetivo de recabar la opinión de los dirigentes de organizaciones agrícolas sobre las distintas prácticas de sustentabilidad que realizan y que han contribuido a la creación de valor de su empresa. El instrumento ha sido diseñado para ser atendido por mandos superiores de las organizaciones agrícolas, no se busca la opinión de los grupos de interés (*Stakeholders*) de esta actividad económica.

El instrumento garantiza y da respuesta al interrogante de que, con base en las prácticas responsables que estamos llevando como organización ¿estamos generando valor?, en cualquiera de sus variables. Se demostró que 32 empresas agrícolas, del municipio de Guasave, crean valor de forma tangible y son más rentables al tomar en cuenta el eje ambiental; es decir, aumentan sus utilidades y tienen cadenas de valor más sólidas. Sin embargo, se aclara, que los mismos entes económicos no han generado valor intangible a través de las prácticas que están realizando. Lo que permite concluir que, tras las diferentes pruebas realizadas, es posible, y se recomienda, la utilización de este instrumento para futuras investigaciones, replicándolo en otros contextos con características similares a las mostradas en las empresas agrícolas.

Este instrumento permite identificar las prácticas sustentables que contribuyen a la generación de valor en las organizaciones agrícolas, garantizándoles su permanencia en el mercado, ser más competitivas, mejorando su imagen y reputación, ser más rentables, pero, sobre todo, contribuyendo al logro del desarrollo sustentable del planeta. El instrumento no evalúa ni critica las prácticas sustentables

que realizan las organizaciones agrícolas, sino que diagnóstica el resultado de estas hacia la empresa en la generación de valor, es decir, si lo que están haciendo en el cuidado del medio ambiente y del entorno, les está dando dividendos tangibles e intangibles.

Considerando que de la sustentabilidad depende el futuro de los seres, las organizaciones agrícolas no pueden quedarse al margen de los cambios que se están experimentando a nivel mundial en relación con la urgente necesidad de equilibrar las tres dimensiones de la sustentabilidad. Enfocándose no solamente en la generación de riqueza, sino que sus actividades sean sostenibles y que las organizaciones, además de buscar la seguridad alimentaria, sean sensibles con respecto a los daños ecológicos generados por el impacto de sus actividades. La sustentabilidad debe constituir un eje rector para las instituciones y empresas para poder sobrevivir, generar valor y equilibrar las dimensiones económica, social y ambiental.

Es así como se aporta no solamente un instrumento validado, sino que también permitirá redefinir las líneas de acción y los compromisos institucionales en relación con la sustentabilidad, diseñando estrategias que favorezcan la generación de valor, tanto tangible como intangible, para que estas puedan permanecer y contribuyan a la sostenibilidad de los seres humanos en el planeta.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer autor: administración del proyecto, adquisición de recursos, análisis de datos, investigación y escritura – borrador original. **Segundo autor:** Investigación, análisis de datos, escritura – revisión y edición, logística y supervisión. **Tercer autor:** Metodología, conceptualización, revisión y edición. **Cuarto autor:** Conceptualización, metodología y supervisión.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por todos los apoyos otorgados para la realización de esa investigación; así como también a la Universidad Autónoma de Occidente por el aprendizaje brindado y apoyo de todos los investigadores que forman parte del núcleo básico de profesores del Doctorado en Sustentabilidad. A todos los empresarios agrícolas por su colaboración en el diseño de este instrumento, y finalmente a los docentes externos que contribuyeron en la validación de este.

LITERATURA CITADA

- Bell, S., y Morse, S. (2018). Sustainable Indicators Past and Present. what next? Sustainability, 10 (5). <https://doi.org/10.3390/su10051688>
- Bojórquez, J., López, L., Hernández, M., y Jiménez, E. (2013). Utilización del alfa de Cronbach para validar la confiabilidad de un instrumento de medición de satisfacción del estudiante en el uso del software Minitab. Eleventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2013) "Innovation in Engineering, Technology and Education for Competitiveness and Prosperity" August 14 - 16, 2013 Cancún, Mexico.
- Carmona, E., y Magán, A. (2008). La estrategia ambiental: definición y tipologías. In University, Society and Global Markets. European Academic Publishers, pp. 541-555.
- Carrillo, G. (2011). Sustentabilidad en las Organizaciones: Nuevos enfoques y formas de entender del concepto. *Administración y Organizaciones*, 27 (14), 5-11.
- Carro, J., Reyes, B., Rosano, G., Garnica, J., y Pérez, B. (2017). Modelo de Desarrollo Sustentable para la Industria de Recubrimientos Cerámicos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33 (1), 131-139. <http://dx.doi.org/10.20937/RICA.2017.33.01.12>
- Čater, T.; Prasnikar, J., y Čater, B. (2009). Environmental strategies and their motives and results in Slovenian business practice. *Economic and Business Review*, 11 (1), 55-74.

- Celina H. y Campo A., (2005). "Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach", *Revista colombiana de psiquiatría*, 34 (4), 572-580.
- Consejo para el Desarrollo Económico de Sinaloa, CODESIN (2017). Reporte sobre la agricultura en Sinaloa al año 2016. Sinaloa en Numero 5. Recuperado de <http://sinaloaennumeros.com/reporte-sobre-la-agricultura-en-sinaloa-al-ano-2016/> Consultado el día: 06 de enero de 2018
- Corona, I. (2016). El desarrollo de la agricultura y el impacto que tendría en las finanzas públicas de México. Premio de las Finanzas Públicas 2016, México otorgado por el Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (CEFP) de la Cámara de Diputados LXIII Legislatura. México.
- Delgado de Smith, Y., Colombo L. y Rosmel, O. (2002). *Conduciendo la Investigación*. Editorial Comala. Caracas.
- Elkington, J. (1994). Towards the Sustainable Corporation: Win-Win-Win Business Strategies for Sustainable Development. *California Management Review*, 36 (2), pp. 90-100. <https://doi.org/10.2307/41165746>.
- Escobedo, G., y García, C. (2018). Responsabilidad Social Empresarial. En G. Escobedo, & M. Andrade, Desarrollo Sustentable. Estrategias en las empresas para un futuro mejor (347-378). México: Alfaomega.
- García-Garnica, M. (2016). Elaboración y validación de un cuestionario para medir prácticas eficaces de liderazgo pedagógico de la dirección. *Revista de curriculum y profesorado*, 20(3), 493-526.
- Hart, S., y Milstein, M. (2003). Creating sustainable value. *Academy of Management Executive*, 17 (2), 56-69.
- Henriques, A., y Richardson, J. (2013). The Triple Bottom Line, Does It All Add Up? Assessing the Sustainability of Business and CSR (en inglés). Earthscan.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista L. (2010). *Metodología de la investigación*. Quinta edición. México: Editorial Mac Graw Hill.
- Jane, M. (2013). Environment Strategy. Universidad de Wonchester. Pp.1-6. Reino Unido.
- Jaramillo, J.; Rodríguez, V.; Guzmán, M.; Zapata, M. y Rengifo, T. (2007). Manual técnico: Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción de tomate bajo condiciones protegidas. CORPOICA – MANA – Gobernación de Antioquia – FAO. Medellín, Colombia.
- Leal, J. (2009). Desarrollo Sostenible en la empresa: Herramientas de Gestión. Presentación en Power Point el mes de mayo 2009. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL). Recuperado de https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/8/35988/jose-Leal_DSEMPRESAHERRAMIENTAS.pdf
- López, A., Calle, D., y Molina, A. (2017). Análisis del uso de herramientas de gestión ambiental en las empresas comerciales del Cantón de Morona. *Killkana Sociales*, 1(3), pp. 45-52. https://doi.org/10.26871/killkana_social.v1i3.62
- Martínez, M.; Waliszewski, S.; Amador, O.; Meza, E.; Calderón, M.; Zenteno, E.; Huichapan, J.; Caba, M.; Félix, R. y Longoria, R. (2016). Aerial pesticide application causes DNA damage in pilots from Sinaloa, México. *Environmental Science and Pollution Research*, 24 (3), 2412-2420. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7974-5>
- Molina, E., y Victorero, E. (2015). La agricultura en países subdesarrollados. Particularidades de su financiamiento. Cuba: CLACSO.
- IAEA (2012) Organismo Internacional de Energía Atómica. Agricultura y seguridad alimentaria: La contribución del OIEA. Departamento de cooperación técnica. Viena, Australia.
- Orsato, R. (2006). Competitive Environmental Strategies: when does it pay to be green?. *California Management Review*, 48(2), 127-143. <https://doi.org/10.2307/41166341>
- Paternoster, A. (2011) Herramientas para medir la sostenibilidad corporativa (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Catalunya, Cataluña, España. En línea: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13644/PFM_Agustin_Paternoster.pdf
- Quero, M. (2010). Confiabilidad y coeficiente Alpha de Cronbach. *Telos*, 12 (2), 248-252.
- Rodríguez, M. y Ricart, J. (2000). Estrategia medioambiental y creación de valor. Documento de investigación No.408. División de investigación de IESE. Universidad de Navarra. Barcelona, España. Bogotá, Colombia.

- Salkind, N. (1999). *Métodos de investigación*. México: Prentice Hall.
- SAGARPA (2016) Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Cuarto informe de labores 2015-2016. pp. 151. México.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). Estadística de la producción agrícola del año 2015. Recuperado de <https://datos.gob.mx/busca/dataset/estadistica-de-la-produccion-agricola>
- Sinergia (2006). Producción Respetuosa en Viticultura. Impactos Ambientales en Agricultura. Proyecto Life Sinergia Life 03 ENV/E/000085 del Gobierno de La Rioja, España.
- Soriano, A. (2014). Diseño y validación de instrumentos de medición. *Diálogos*, 8, 19-40.
- Zulueta, A., Asencio, J., Leyva, D. y Montero. J. (2013). Sustentabilidad empresarial de proyectos mineros: el análisis multicriterio como perspectiva acertada para su evaluación. *Minería y Geología*, 29(4), 79-94.

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 LA SUPLEMENTACIÓN CON ENSILAJE DE NARANJA SOBRE LA COMPOSICIÓN DE LA LECHE BOVINA

EFFECT OF ORANGE SILAGE SUPPLEMENTATION ON BOVINE MILK COMPOSITION

¹Dixon Fabián Flórez Delgado ²Alfonso Eugenio Capacho Mogollón
³Sandra Milena Quintero Muiño, ⁴Pavlova Báez Gamboa

¹Magister en Sistemas Sostenibles de Producción, Universidad de Pamplona.

²Magister en Calidad de la Educación Superior, Universidad de Pamplona.

³Especialista en Nutrición Animal Sostenible, Universidad de Pamplona.

⁴Zootecnista, Universidad de Pamplona.

¹dixon.florez@unipamplona.edu.co; ²aecapacho@unipamplona.edu.co;

³sandra.quintero@unipamplona.edu.co

RESUMEN

Contextualización: en la producción ganadera, la suplementación alimenticia se lleva a cabo mediante alimentos balanceados comerciales que incrementan los costos de producción y afectan los márgenes de rentabilidad de las empresas pecuarias.

Vacío de conocimiento: el ensilaje de naranja se ve como una alternativa nutricional y económica para las empresas ganaderas que están en busca de su sostenibilidad bajo los siguientes interrogantes: ¿cuál es el efecto del ensilaje de naranja sobre la productividad y calidad de leche bovina?, ¿es posible reducir los costos por concepto de alimentación al incluir este ensilaje y reducir el alimento balanceado sin afectar los parámetros productivos en bovinos leche?

Propósito del estudio: evaluar el efecto del suministro de ensilaje de naranja (EN) sobre la composición de la leche bovina en la Granja Experimental Villa Marina de la Universidad de Pamplona.

Metodología: se utilizó un diseño de bloques completos aleatorizados con 12 animales cuya genética está influenciada por las razas Gyr, Holstein, Jersey y Rojo Sueco, distribuidos en un tratamiento con la sustitución del 20% del alimento balanceado comercial (T1) y un testigo (T2). Se elaboró el EN con frutos producidos en la granja con 30 días de fermentación. Se realizó un periodo de acostumbamiento de 10 días. Se midió la composición de la leche (grasa, proteína, sólidos no grasos, minerales y lactosa) cada siete días durante 90 días.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.2974>

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza y de correlación.

Resultados y conclusiones: la inclusión de EN generó un mayor contenido de grasa (4,36%, $P < 0,05$) en la leche de las vacas en comparación con el tratamiento testigo (3,75%). No hubo efecto de los tratamientos en los demás componentes de la leche evaluados. La producción diaria de leche no fue afectada ($P > 0,05$) por los tratamientos. El costo de suplementación por litro de leche se estimó en COP 265,15. La sustitución de alimento balanceado comercial en un 20% con EN mejora el porcentaje de grasa en la leche y disminuye los costos de la alimentación respecto al manejo convencional, constituyéndose en una alternativa sostenible de alimentación en vacas lactantes cruzadas.

Palabras clave: cítrico; fermentación anaeróbica; grasa de la leche; rumiante.

ABSTRACT

Contextualization: In livestock production, food supplementation is carried out with commercial feed that increases production costs and thus affects the profit margins of livestock companies.

Knowledge gap: Orange silage is considered a nutritional and economic alternative for livestock companies in search of sustainability under the following questions: What is the effect of orange silage on the productivity and quality of bovine milk? Is it possible to reduce the feeding costs by including this silage and reducing the feed without affecting the productive parameters in milk cattle?

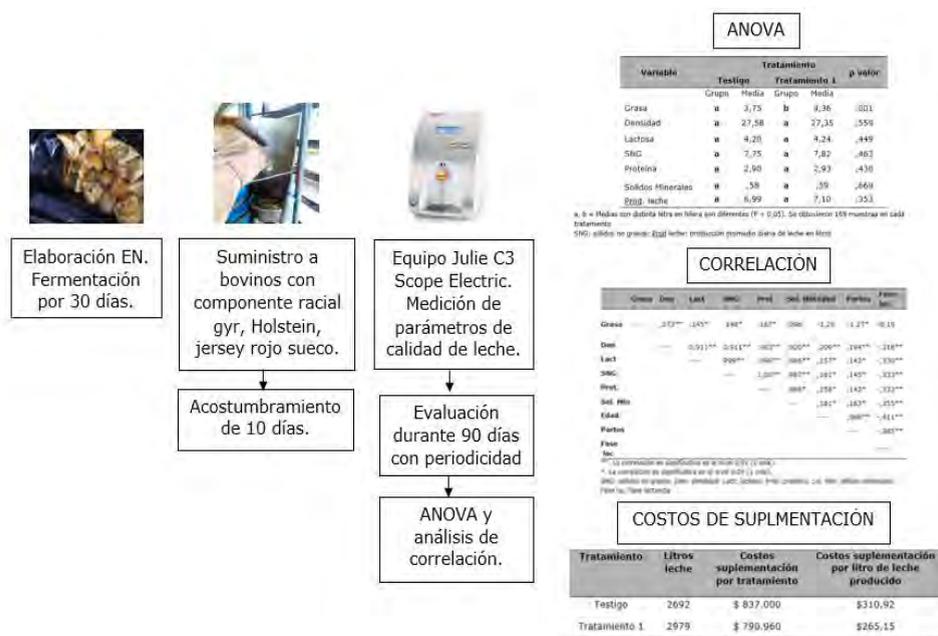
Purpose: The main objective of this study was to evaluate the effect of orange silage (EN) supply on bovine milk composition at Villa Marina Experimental Farm of University of Pamplona.

Methodology: A randomized complete block design was used with 12 animals whose genetics are influenced by the Gyr, Holstein, Jersey and Swedish Red breed, distributed in a treatment with the substitution of 20% of commercial balanced food (T1) and a control (T2). The EN was elaborated with fruits produced on the farm with 30 days of fermentation. A period of 10 days of accustoming was carried out. The milk composition (fat, protein, non-fat solids (SNG), minerals and lactose) were measured every seven days for 90 days. The data obtained were subjected to an analysis of variance and correlation.

Results and conclusions: The inclusion of EN produced a higher fat content (4,36%, $P < 0.05$) in the cow's milk, compared to the control treatment (3.75%). There was no effect of treatments on the remainder milk components evaluated. The daily production of milk was not affected ($P > 0.05$) by treatments. The replacement of commercial balanced food by 20% with EN improves the milk fat content and decreases the costs of feeding, compared to conventional management, becoming a sustainable feeding alternative in crossbreed lactating cows.

Keywords: citrus; anaerobic fermentation; milk fat; ruminant.

RESUMEN GRÁFICO



1. INTRODUCCIÓN

Los forrajes son la base de la alimentación en los sistemas de producción de rumiantes, y en algunos casos es necesario la utilización de los alimentos balanceados para llenar el requerimiento nutricional de los animales, lo cual reduce los márgenes de rentabilidad por el incremento en los costos de alimentación (Bermúdez, et al., 2015).

Los alimentos balanceados, que están formulados a base de granos y cereales importados, se convierten en el principal suplemento alimenticio disponible para los productores en el país y generan incrementos notables en los costos de producción. Por esto, muchos productores han incursionado en la formulación y elaboración de su propio suplemento alimenticio, utilizando nuevas alternativas de alimentación a bajo costo (Triana, et al., 2014), a partir de subproductos agroindustriales y residuos de cosecha, como fuentes de alimento, especialmente en regiones donde la oferta de forraje en pastoreo es restrictiva por diversas factores (i.e. época de sequía) (Martínez, et al., 2008), constituyéndose en opciones para

generar una sostenibilidad económica en los sistemas de producción (Pereira, et al., 2008).

La naranja (fruto entero) es un recurso local disponible en la provincia de Pamplona (Norte de Santander) cuyo uso, debido a su bajo valor comercial, se ha direccionado a la alimentación de rumiantes. Posee nutrientes y una alta digestibilidad de la materia seca (58%), lo que lo convierte en una alternativa viable para la alimentación de rumiantes (Velásquez, Esquivel, Montero y Ku, 2012).

La naranja para alimentación animal puede emplearse deshidratada, peletizada o molida; sin embargo, la literatura sugiere que la mejor forma de conservarla y usarla es en forma húmeda a través del ensilaje (Italvo, et al, 2000). Los carbohidratos solubles (azúcares simples) y estructurales (celulosa, hemicelulosa y pectina) son sus principales aportes nutricionales, de fácil fermentación en el rumen que favorecen la formación de ácidos propiónico y acético respectivamente (Fernández, 2014). El uso de este fruto en la alimentación animal, además de reducir los

problemas de contaminación por la producción de malos olores, proliferación de insectos e incluso filtraciones ácidas en el suelo, ha demostrado reducir la presencia de *E. coli* y *Salmonella* en el intestino de los rumiantes, mejorando el estado de salud de estos (Dominguez, 2013) al proveer fibra, vitaminas y aceites esenciales que actúan como un antibiótico natural.

La alimentación de rumiantes con frutos de naranja y subproductos cítricos disminuye la dependencia y uso de cereales en la alimentación animal con el uso aquellos frutos que no cumplen con el estándar mínimo para su comercialización (Pássaro, et al., 2012) y el efecto negativo de los residuos agroindustriales al ambiente (Grasser, 1995; Ajila, 2012). El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la suplementación con ensilaje de naranja sobre los parámetros de calidad de la leche bovina.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El estudio se realizó en la Granja Experimental Villa Marina de la Universidad de Pamplona, ubicada en la vereda Matajira, municipio de Pamplonita. Tiene una altitud de 1100 m.s.n.m. en su parte baja y de 1800 en la parte alta; su temperatura promedio es de 20°C, topografía pendiente, con una precipitación de 1400 mm anual. El experimento, se realizó en los meses de julio y agosto de 2018.

Animales y manejo de la alimentación

Se emplearon doce vacas lactantes cuya composición racial estuvo conformada por Holstein, Gyr, Jersey y Rojo Sueco, con edades entre los 3 y los 11 años, y un peso promedio de 425 Kg. Se dividieron de manera aleatoria en dos grupos, siendo identificadas con un collar que permitió hacer el seguimiento semanal para la toma de datos y diligenciamiento de registros.

El manejo alimenticio consistió en pastoreo rotacional, con forraje estrella (*Cynodon plectostachyus*) y braquiaria común (*Brachiaria decumbens*) con periodos de ocupación de 2 días y de descanso de 42 días, con suplemento de 60 gramos de sal y un kilogramo de alimento balanceado comercial por animal / día.

Elaboración del ensilaje de naranja

Se utilizó la naranja producida en la Granja Experimental Villa Marina, posteriormente se picó en trozos pequeños (indicar tamaño y con qué equipo o herramienta realizó el picado). Se almacenó el material en silo de bolsa (Fernández, 2015) con un calibre 7 con capacidad para 50 kg. Para el proceso de elaboración se alternaron capas de naranja picada de un espesor de 10cm seguida de una capa de harina de arroz para reducir los niveles de humedad hasta completar el total de la bolsa (Triana, et al. 2014). Se empleó un 97% de naranja y un 3% de harina de arroz. Las bolsas se almacenaron en un lugar protegido del sol y de los roedores para su proceso de fermentación de 21 días (Bermúdez et al., 2015).

Tratamientos

Se evaluaron dos tratamientos: el tratamiento experimental, que consistió en sustituir el 20% del alimento balanceado comercial por ensilaje de naranja y el tratamiento testigo, que consistió en alimento balanceado convencional. Se implementó un periodo de acostumbamiento de los bovinos al ensilaje de naranja durante diez días (Velásquez, et al., 2012) para iniciar con la toma de datos.

Mediciones

Calidad nutricional de los alimentos. Se determinó su composición nutricional de este suplemento alimenticio, teniendo en cuenta los siguientes parámetros nutricionales:

- pH, a través de potenciometría
- Materia Seca, por medio de termo gravimétrico a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
- Proteína, por Kjeldahl
- Cenizas por incineración directa a 600°C
- Grasa, por extracción
- Fibra Cruda, por método gravimétrico

Producción y calidad de leche: pasado el periodo de acostumbramiento de diez días al EN, se inició con la medición de la calidad de la leche empleando el equipo Julie C3 Scope Electric con intervalos de siete días durante todo el periodo experimental (60 días). Se tomó una muestra de leche en el ordeño de la mañana (7:00 am) para medición de sólidos totales.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se aplicaron pruebas de estadística descriptiva, análisis de varianza mediante la prueba de Tukey ($P < 0,05$) y análisis de correlación de Pearson para determinar el efecto y las diferencias entre el tratamiento y el testigo como suplemento alimenticio sobre los parámetros de calidad de leche bovina. Se siguió el siguiente diseño experimental (ecuación 1):

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_j + \text{Covariable} \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde:

Y: producción y calidad de la leche

μ : media general

T_i : efecto del tratamiento

E_j : error general

Covariable: raza, peso, edad, lactancia

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición nutricional del ensilaje de naranja se indica en la tabla 1.

Tabla 1. Composición nutricional del ensilaje de naranja.

Composición	%
pH	3,63
Materia Seca	13,04
Proteína	8,42
Cenizas	0,56
Grasa	1,59
Fibra Cruda	32,88

Fuente: Autores

Producción y composición de la leche

En cuanto a la producción diaria de leche, no se presentaron diferencias significativas ($P > 0,05$), con medias de 6,99 litros por animal para el testigo y 7,10 para el tratamiento 1 (Tabla 2).

Tabla 2. Producción y composición de la leche de vacas cruzadas con la sustitución del 20% del alimento balanceado comercial por ensilaje de naranja (T1) y alimento balanceado de manera convencional (testigo).

Variable	Tratamiento		Valor P
	Testigo	Tratamiento 1	
Producción de leche (l/vaca/día)	6,99±0,12	7,1±0,09	0,35
Composición (%)			
Grasa	3,75±0,06a	4,36±0,07b	0,001
Lactosa	4,20±0,08a	4,24±0,10a	0,44
SNG	7,75±0,21a	7,82±0,19a	0,46
Proteína	2,90±0,04a	2,93±0,07a	0,43
Minerales	0,58±0,01a	0,59±0,03a	0,66
Densidad (g/ml)	1,027±0,02a	1,027±0,01a	0,55

SNG: sólidos no grasos. Medias con distinta letra en la misma fila indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

Fuente: Autores

El contenido de grasa en la leche fue mayor (4,36%, $P < 0,05$) en las vacas alimentadas con el tratamiento 1, en comparación con el testigo. Esto puede estar explicado por el aporte de fibra que realiza el ensilaje de avena, que produce acetato a nivel ruminal, el cual es precursor de ácidos grasos de hasta 16 carbonos (Domínguez, 2013).

La inclusión de EN en la dieta de rumiantes ha sido asociada a efectos positivos, especialmente en relación con la fermentación ruminal (Flórez, et al. 2018) y con los aumentos en el contenido graso de la leche (Wing, 1982; Belibasakis y Tsirgogianni, 1996), fermentación de pectinas (Strobel y Russell, 1986) y cambios moderados en el pH del rumen (Villareal, 2006; Piquer, 2009), evitando la presencia de acidosis (Wing, 1982). Todo lo anterior favorece el empleo de este

suplemento como sustituto de los alimentos balanceados comerciales al ser una fuente de energía alternativa.

No se presentaron diferencias en el contenido de proteína, lactosa, minerales y densidad de la leche por efecto de los tratamientos ($P > 0,05$). En la tabla 3 se muestra el nivel de correlación entre las variables asociadas a la calidad de la leche, donde se logra determinar que existe una correlación alta positiva entre los componentes lactosa y sólidos no grasos ($R = 0,9$), lactosa y proteína ($R = 0,9$), lo que indica que, a medida que la lactosa aumentó, el contenido de sólidos no grasos y proteína fue mayor; asimismo, existe una relación lineal fuerte entre sólidos no grasos y proteína (1,0), ya que, a medida que el contenido de sólidos no grasos aumentó, la proteína se comportó de la misma manera.

Tabla 3. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables de calidad de la leche, edad, número de partos y fase de la lactancia, número de partos y fase de la lactancia

	Grasa	Den.	Lact.	SNG	Prot.	Sol. Min	Edad	Partos	Fase Lac.
Grasa	----	0,273**	0,145*	0,148*	0,167*	0,096	-1,26	-1,27*	-0,19
Den.		----	0,911**	0,911**	0,903**	0,920**	0,209**	0,194**	-0,316**
Lact.			----	0,999**	0,999**	0,986**	0,157*	0,142*	-0,330**
SNG				----	1,00**	0,987**	0,161*	0,145*	-0,333**
Prot					----	0,986*	0,158*	0,142*	-0,333**
Sol. Min						----	0,181*	0,163*	-0,355**
Edad							----	0,968**	-0,411**
Partos								----	-0,385**
Fase lac.									----

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (1 cola). * La correlación es significativa en el nivel 0,05 (1 cola). SNG: sólidos no grasos; Den: densidad; Lact: lactosa; Prot: proteína; Sol. Min: sólidos minerales; Fase lac.: fase lactancia. **Fuente:** Autores

También se puede observar en la correlación de Pearson que no existe una relación entre las variables densidad, lactosa y sólidos minerales (-,145 y 0,096 respectivamente), ya que el valor de r es relativamente cercano a 0, lo que indica que el contenido de lactosa y sólidos minerales no influyen en mayor medida la densidad.

Finalmente, los factores de edad, número de partos y fase de la lactancia presentaron una

correlación negativa, ya que, al aumentar estos factores, los parámetros de calidad de la leche, como la grasa, disminuyen.

Los costos de suplementación con EN por litro de leche producido se calcularon en COP 253,59 y COP 300 para el tratamiento 1 y testigo respectivamente como se muestra en la siguiente tabla 4.

Tabla 4. Costo de suplementación de litro de leche producido con ensilaje de naranja.

Tratamiento	Litros leche	Costos suplementación por tratamiento	Costos suplementación por litro de leche producido
Testigo	2692	COP 837.000	COP 310,92
Tratamiento 1	2979	COP 790.960	COP 265,15

Fuente: Autores

4. CONCLUSIONES

La sustitución de alimento balanceado comercial en un 20% con EN, mejora el porcentaje de grasa en la leche y disminuye los costos de

la alimentación (indicar el porcentaje) respecto al manejo convencional, constituyéndose en una alternativa sostenible de alimentación en vacas lactantes cruzadas.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer autor. Metodología, análisis de datos, escritura borrador original. **Segundo autor.** Investigación, conceptualización, escritura borrador original. **Tercer autor.** Metodología, investigación, escritura borrador original. **Cuarto autor.** Investigación, escritura borrador original.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad de Pamplona, en especial a la Vicerrectoría de Investigaciones por su colaboración en el desarrollo del proyecto a través del Semillero de Investigación en Producción Animal Sostenible SIPAS del programa de Zootecnia. De la misma manera, al proyecto "Efecto de la suplementación con ensilaje de naranja sobre la calidad de leche caprina", desarrollado por investigadores de la Universidad de Pamplona en la Granja Experimental Villa Marina en el año 2017, cuyos resultados fueron claves para el desarrollo de la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- Ajila, C. (2012). Sustainable solutions for agro processing waste management: An overview. In: Malik, A.; Grohmann, E. (Ed). *Environmental Protection Strategies for Sustainable Development*. Netherlands: Springer, 2012. p. 65-109.
- Belibasakis, N., y Tsirgogianni, D. (1996). Effects of dried citrus pulp on milk yield, milk composition and blood components of dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 60(1), 87-92. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00927-2](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00927-2)
- Bermúdez, L., Melo, E. y Estrada, J. (2015). Evaluación de ensilaje de naranja entera (*Citrus sinensis*) como alternativa de suplementación en bovinos. *Revista Veterinaria y Zootecnia*, 9(2), 38-53.
- Domínguez, M. (2013). Efecto de la incorporación de pulpa de naranja en la dieta de cabras lecheras sobre la producción, composición de la leche y rendimiento quesero. Universidad Politécnica de Valencia, España. Tesis de Maestría.
- Fernández, A. (2015). Subproductos de los Cítricos. Sitio argentino de Producción Animal. Argentina. p. 3.
- Fernández, A. (2014). Transformación de subproductos y residuos de agroindustria de cultivos templados, subtropicales y tropicales en carne y leche bovina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro Regional Buenos Aires Sur Estación Experimental Agropecuaria Bordenave EEA Bordenave. 1° edición. pp. 200.
- Flórez, D., Capacho, A., Quintero, M. & Gamboa, K. (2018). Efecto de la suplementación con ensilaje de naranja sobre la calidad de leche caprina. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 501-506. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.982>
- Grasser, L. (1995). Quantity and economic importance of nine selected by-products used in California dairy rations. *Journal Dairy Science*, 78(4), 962-971.
- Martínez, J., Chongo, B., Jordán, H., Hernández, N., Fontes, D., Lezcano, Y., y Cubillas, N. (2008). Características nutritivas de los hollejos húmedos de naranja (*Citrus sinensis* cv. Valencia) mantenidos en estibas. *Técnica Pecuaria en México*, vol. 46, núm. 2. pp. 183-193. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Mérida, México.
- Pássaro, C., Navarro, P., y Salvador, A. (2012). Poscosecha. In: Garcés, L.F. (Ed.). *Cítricos: cultivo, cosecha e industrialización*. Caldas: Corporación Universitaria Lasallista pp. 223-284.
- Pereira, M., De azambuja, E., Yurika, I., da Rocha, M., Tiemi, J., y Yukio, E. (2008). Consumo de nutrientes e desempenho de cordeiros em confinamento alimentados com dietas com polpa cítrica úmida prensada em substituição à silagem de milho. *Revista Brasileira Zootecnia*, 37, 134-139.
- Piquer, O. (2009). Whole citrus fruits as an alternative to wheat grain or citrus pulp in sheep diet: Effect on the evolution of ruminal parameters. *Small Ruminant Research*, 83(1), 14-21.
- Strobel, H., y Russell, J. (1986). Effect of pH and energy spilling on bacterial protein synthesis by carbohydrate-limited cultures of mixed rumen bacteria. *Journal of Dairy Science*, 69(11), 2941-2947.
- Triana, E., Campo, Y., y Lizcano, H. (2014). Evaluación de ensilaje a partir de dos subproductos agroindustriales (cascara de naranja y plátano de rechazo) para alimentación de ganado bovino. *Revista Alimentos Hoy*, 22(31), 33-45.

- Velásquez, R., Esquivel, H., Montero, L., y Ku, J. (2012). Engorda de corderos Pelibuey con ensilaje de pulpa de naranja *Citrus sinensis* L. en jaulas elevadas. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 5(1), 67-31.
- Villareal, M. (2006). Effect of supplementation with pelleted citrus pulp on digestibility and intake in beef cattle fed a tropical grass-based diet (*Cynodon nlemfuensis*). *Animal Feed Science and Technology*, 125,163-173.
- Wing, J. (1982). Citrus feed stuffs for dairy cattle. Gainesville: University of Florida.

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.

LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DESDE LA PERCEPCIÓN DE LOS PRODUCTORES DE CAFÉ DE BELÉN DE UMBRÍA, RISARALDA, COLOMBIA

SERVICES ECOSYSTEMS: PERCEPTIONS FROM THE COFFEE
PRODUCERS IN BELÉN DE UMBRÍA, RISARALDA, COLOMBIA

¹Ángela María Arango, ²Miguel Ángel Dossman,
³Juliana Muñoz, ⁴Liliana Bueno, ⁵Jhon Jairo Arias,
⁶Juan Carlos Camargo, ⁷Juan Martín Maya

¹Magister en Ecotecnología, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia

²Magister en Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia

^{3,4}Estudiante de Doctorado, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia

⁵Magister en Desarrollo Rural, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia

⁶PhD Ciencias Forestales, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia

⁷Esp. en SIG, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia

¹ amarango@utp.edu.co; ² mdossman@utp.edu.co;

³ juli-ana@utp.edu.co; ⁴ lilibu@utp.edu.co; ⁵ jhonja@utp.edu.co;

⁶ jupipe@utp.edu.co; ⁷ jmmaya@utp.edu.co

RESUMEN

Contextualización: los sistemas cafeteros presentes en el departamento de Risaralda, Colombia, se caracterizan por modelos de producción acordes con las condiciones climáticas de la zona, la topografía y las necesidades de los productores de café. Los servicios ecosistémicos son percibidos por las comunidades como los beneficios que se reciben de la naturaleza. Tradicionalmente estos beneficios se asocian

con el aumento de la productividad, disfrute de la belleza escénica y recreación, entre otros. En este sentido los miembros de la asociación de café de alta calidad cuchilla de San Juan del municipio de Belén de Umbría, Risaralda Colombia han percibido el cambio en estos beneficios que se traducen en disminución de la productividad, erosión del suelo, mayor incidencia de plagas y enfermedades entre otros.

Vacío de conocimiento: la determinación de la relevancia de los servicios ecosistémicos visto desde la percepción de los productores ha sido algo poco común en sistemas productivos de café y se convierte en una importante fuente de información para la toma de decisiones de manejo de los sistemas, a través de ello se pueden generar perspectivas más integrales del territorio que abarquen perspectivas ecológicas, económicas y culturales de los sistemas productivos de café.

Propósito del estudio: el objetivo de este estudio consistió en determinar cuáles fueron los servicios ecosistémicos más relevantes para 15 productores cafeteros.

Metodología: se utilizó la metodología de análisis multicriterio de jerarquización y cualificación y talleres con los productores con el fin de recopilar la información.

Resultados y Conclusiones: los resultados mostraron que los servicios de regulación obtuvieron las calificaciones más altas (regulación hídrica y conservación del suelo) seguidos por el servicio ecosistémico de provisión de alimentos y la disponibilidad de nutrientes (provisión). Por último, se generaron, a través de talleres internos, estrategias de manejo con las cuales se espera que se mantengan los servicios ecosistémicos priorizados por los productores y que permitan un mejor uso y disfrute del medio ambiente.

Palabras clave: Café; Beneficios Ambientales; Funciones de los ecosistemas; Manejo de los sistemas agrícolas; Productores.

ABSTRACT

Contextualization: In Risaralda, Colombia, coffee production systems have been characterized by production models that follow factors

such as climate conditions, topography and producer needs. For the population, ecosystem services are those that come from the nature, which have traditionally been related to an increase in productivity, and a more enjoyable landscape with recreation activities, among other benefits. Members of the High-Quality Coffee Association "Cuchilla de San Juan", from Belén de Umbria, Risaralda, have seen a detriment in said benefits such as low productivity, increase of pests and diseases, among others.

Knowledge gap: The relevance of ecosystem services, seen through the producer's perspective, has rarely been considered in the case of coffee production systems. Determining this relevance becomes a major information source for decision making. This could reveal more comprehensive perspectives in regards of the territory that cover the environmental, economic and cultural spheres.

Purpose: The purpose of this study was to determine the most relevant ecosystem services for 15 coffee producers.

Methodology: multi-criteria analysis for prioritization and qualification; for data collection, workshops with the producers were implemented.

Results and conclusion: The results show that regulation services had the highest qualification (water regulation and soil conservation), followed by supply services (food and nutrients supply). Also, through meetings, management strategies have been developed to improve management decisions and improve ecosystem services to coffee production systems.

Keywords: Coffee; Environmental Benefits; Ecosystem functions; Management of agricultural systems; Producers.

RESUMEN GRÁFICO



1. INTRODUCCIÓN

Colombia es el tercer mayor productor de café en el mundo. Durante el año cafetero 2017/2018 la producción de café mundial alcanzó los 164,8 millones de sacos de café, de los cuales Colombia aportó 13,8 millones (8,4% del total mundial) (Federación Nacional de Cafeteros y CENICAFÉ, 2018). El departamento de Risaralda por su parte, se encuentra en la denominada zona cafetera de Colombia y la producción de café es la principal actividad económica de la región (Echavarría et al., 2015)

De acuerdo a la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2018), Risaralda tiene 451mil hectáreas cultivadas con café con un tiempo de establecimiento de 5 años, la densidad promedio de siembra es de 4.103 árboles por hectárea. El municipio de Belén de Umbría contribuye con 8.179 toneladas anuales de café a la producción departamental (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2019). Los cultivos de café presentes en el municipio son, en su mayoría, de la modalidad de libre

exposición. Un estudio desarrollado en 103 fincas pertenecientes a la Asociación de productores de café de Alta Calidad Cuchilla de San Juan demostró que el 41% de los productores cultivan el café bajo la modalidad de libre exposición (Grupo de Investigación en Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos, 2019). En su mayoría, las fincas del municipio cultivan variedades Rosario, Castilla y Naranjal (Florez R y Arias S, 2017). Estas variedades se caracterizan porque tienen requerimientos nutricionales diferentes, necesitan una mayor exposición al sol y soportan densidades de siembra mayores (Florez R y Arias S, 2017). En términos de producción, las variedades cultivadas han mostrado ser eficientes, sin embargo, su masificación ha generado impactos ambientales negativos que van desde la pérdida de la biodiversidad hasta la degradación de los suelos, lo que deriva en una pérdida de los servicios ecosistémicos que brinda la naturaleza (Farfán Valencia, 2017; Montenegro Gómez et al., 2019)

Los servicios ecosistémicos han sido definidos por la evaluación de ecosistemas del milenio como los beneficios que obtiene el ser humano de los ecosistemas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) Una definición alternativa establece que los servicios ecosistémicos son las contribuciones directas o indirectas de los ecosistemas al bienestar humano (De Groot et al., 2010). Ambas definiciones concuerdan en el bienestar que obtienen los seres humanos de los ecosistemas.

Los ecosistemas son el capital natural del que disponen los seres humanos para obtener diversos beneficios (Alvarez et al., 2011), estos tienen la capacidad de resistir a las perturbaciones (capacidad de resiliencia) y generar un flujo de servicios al ser humano a través de las funciones que ellos desarrollan (Alvarez et al., 2011; Martín et al., 2009) . Las interacciones

entre la estructura y los procesos ecológicos son las que generan los servicios ecosistémicos (De Groot et al., 2002). De esta manera, para diferenciar las funciones de los servicios, se puede decir que las funciones se generan aunque no exista una demanda, uso o disfrute de ellas, mientras que los servicios son percibidos como tal cuando se utilizan de forma consciente o inconsciente por los seres humanos (De Groot et al., 2002; Pulido Pulido et al., 2019). De esta manera, para definir un servicio ecosistémico se hace el reconocimiento por parte de un beneficiario de la función relacionada (De Groot et al., 2002).

Los ecosistemas cafeteros proveen diversos servicios ecosistémicos que han sido evaluados por varios autores (Gonzalez Gonzalez y Serna Giraldo, 2018), algunos de ellos como la captura de carbono (Espinoza et al., 2012), la regulación hídrica (Ramírez et al., 2010), (Jaramillo et al., 2011) y aquellos derivados de la biodiversidad (Botero et al., 2014) entre otros.

Utilizando un enfoque basado en actores, se valoraron las percepciones locales de los pobladores con respecto a los servicios ecosistémicos y de acuerdo con su valor de uso y a su nivel de importancia. Para ello, en el presente estudio se utilizó el análisis de jerarquía y calificación, que es un tipo de metodología de análisis multicriterio en la que se analizan los puntos de vista de los expertos respecto a la importancia, en términos cuantitativos, de un parámetro establecido (Mendoza et al., 1999). Esta calificación permitió conocer las percepciones que los actores locales (productores) tienen sobre el territorio y las funciones que se pueden obtener del manejo de los recursos naturales.

El objetivo de la investigación consistió en conocer la percepción de los productores sobre los servicios ecosistémicos presentes en los

sistemas cafeteros y la importancia que se les da a los mismos, con el fin de generar estrategias para su mantenimiento y/o manejo que sirvan como base para la toma de decisiones a nivel predial y local.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El trabajo se realizó en el municipio de Belén de Umbría, Risaralda, Colombia, localizado en la subregión II del departamento de Risaralda, sobre la vertiente oriental de la cordillera occidental, con productores de café pertenecientes

a la asociación de café de alta calidad Cuchilla de San Juan. Las fincas de los asociados se encuentran distribuidas en rangos altitudinales que van desde los 1.400 hasta los 2.000 m.s.n.m. De los 103 productores pertenecientes a la asociación, se seleccionaron 15 productores teniendo en cuenta la representatividad del rango altitudinal en las fincas, el tamaño de productor que hace referencia al área sembrada en café en la finca con respecto al área total de la misma, y el tipo de productor que indica el manejo que se le da al sistema productivo (Figura 1, Mapa de ubicación de las fincas).

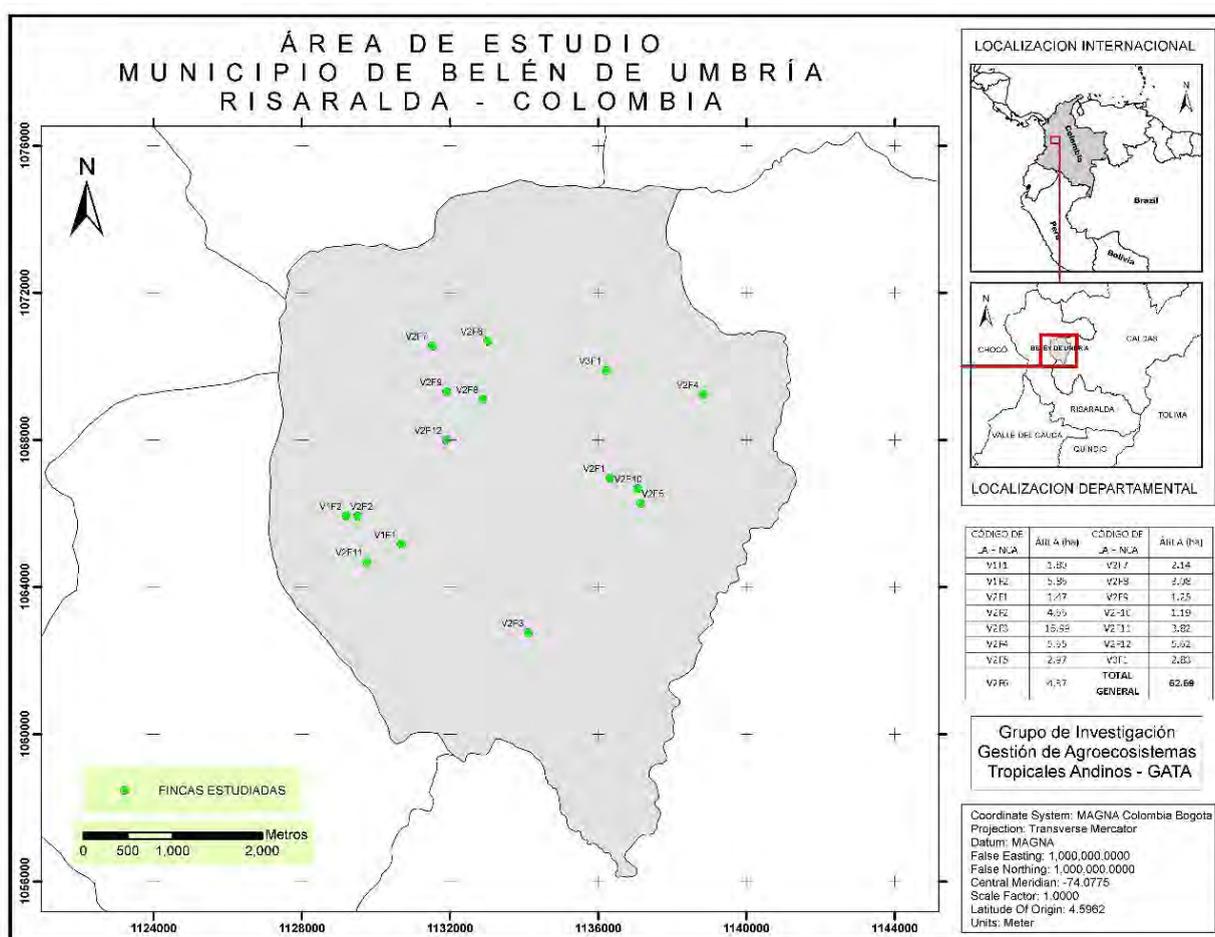


Figura 1. Mapa de ubicación de las fincas.

Fuente: Grupo de Investigación en Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos, 2019.

Percepción de los principales servicios ecosistémicos asociados a los agroecosistemas cafeteros

Para determinar la percepción de los servicios ecosistémicos que proveen los agroecosistemas cafeteros, se utilizó la información recolectada a través del desarrollo del proyecto Servicios Ecosistémicos, en el cual se realizó un muestreo de las propiedades físicas/químicas del suelo y se determinaron los principales servicios ecosistémicos prestados por el suelo (Bedoya y Marín, 2019). De la misma manera, la información recolectada de coberturas del suelo de la zona de estudio a través de las cuales se identificaron las coberturas del agroecosistema (Maya y Camargo, 2019).

Utilizando la información recolectada en los estudios mencionados anteriormente, se realizó una tabla con los principales servicios ecosistémicos que se evaluaron (Tabla 1).

Análisis de jerarquización y calificación

El análisis de jerarquización y calificación se clasifica dentro de los análisis multicriterio. Esta metodología se utiliza como apoyo para la toma de decisiones durante el proceso de planificación que permite integrar diferentes criterios de acuerdo a la opinión de los actores en un solo marco de análisis para dar una visión integral (Mendoza et al., 1999).

Con el fin de cualificar los servicios ecosistémicos percibidos por los productores, la jerarquización consistió en asignarle una posición a cada elemento de decisión de una lista preestablecida. En este ejercicio se utilizó la jerarquización regular, en la cual, sobre una escala de 1 a 9 (siendo 9 extremadamente importante y 1 débilmente importante), se le asignó a cada servicio un puntaje de acuerdo con el criterio de cada actor. De acuerdo

con (Mendoza et al., 1999) en la clasificación regular, diferentes servicios pueden recibir la misma jerarquización, lo que permite cierta flexibilidad en el proceso de la toma de decisiones por parte del productor.

De la misma manera la calificación hace referencia a la asignación de puntuaciones, o porcentajes entre 0 y 100, de acuerdo con el criterio de un grupo de expertos en el tema, y cuya sumatoria debe ser 100. Este tipo de calificación recibe el nombre de calificación cardinal, ya que expresa la utilidad o satisfacción que cada experto o productor obtiene al utilizar o consumir en este caso un bien o un servicio ecosistémico (Mendoza et al., 1999; Muñoz et al., 2017).

Para obtener la cualificación final, se sumaron de manera independiente los valores asignados por cada productor tanto de la clasificación como de la calificación (sumatoria valores de clasificación y sumatoria valores de calificación); posteriormente, se asignó un peso relativo a cada atributo con respecto a su valor de importancia y, finalmente, a través del peso combinado, se determinó la priorización y cualificación de cada atributo (beneficio).

Estrategias de manejo y conservación de los servicios ecosistémicos

Después de determinar la priorización de los servicios ecosistémicos, se realizaron talleres internos en los que se definieron estrategias de manejo y conservación, teniendo en cuenta las variables que influyen en la disponibilidad de los servicios ecosistémicos de provisión, regulación, soporte y culturales (Tabla 1).

Con el fin de que las estrategias planteadas respondan a las necesidades de los productores, se clasificaron las fincas en 3 ventanas de acuerdo a su rango de distribución altitudinal:

Ventana 1: mayores a 1800 msnm - 2 Fincas
 Ventana 2: entre 1400-1800 msnm - 12 Fincas
 Ventana 3: menores a 1400 msnm - 1 Finca

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Servicios ecosistémicos priorizados para su evaluación

Los servicios ecosistémicos que se presentaron

para ser evaluados, se determinaron de acuerdo a las propiedades físicas/químicas y biológicas del suelo (Bedoya y Marín, 2019); el manejo de los agroecosistemas; y las coberturas presentes en los predios (Maya y Camargo, 2019). Para ello, los servicios ecosistémicos se clasificaron de acuerdo a su categoría y la función que prestan. En la Tabla 1 se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 1. Categoría, función y definición de los servicios ecosistémicos.

Categoría	Función Evaluada
Servicios ecosistémicos de provisión: Bienes tangibles o materiales que provienen de los ecosistemas con un beneficio directo a las personas.	Provisión de alimentos
	Recurso medicinal
	Recursos ornamentales
	Producción de madera
Servicios ecosistémicos de Regulación: procesos complejos mediante los cuales se regulan las condiciones del ambiente en que los seres humanos realizan sus actividades.	Control de la erosión
	Control de plagas
	Conservación del suelo
	Captura de carbono
	Regulación hídrica
	Protección de cultivos
Servicios ecosistémicos de Soporte: procesos ecológicos básicos que mantienen y aseguran el mantenimiento adecuado de los ecosistemas permitiendo los flujos de servicios de provisión, de regulación y culturales.	Regulación de clima
	Hábitat de especies
	Disponibilidad de nutrientes
	Formación del suelo
Servicios ecosistémicos Culturales: Beneficios no materiales que las personas obtienen a través del enriquecimiento espiritual, la recreación y la apreciación de la belleza.	Generación de biomasa
	Enraizamiento
	Belleza Escénica

Fuente: adaptado de: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS, 2018.

Como se observa en la Tabla 1 se evaluaron las 4 categorías de servicios ecosistémicos con diferentes funciones que se perciben más fácilmente por los entrevistados; esto contribuyó a que las cualificaciones y calificaciones se hicieran sobre los sistemas cafeteros locales de acuerdo con la percepción de los productores.

Jerarquización y clasificación de los servicios ecosistémicos

Una vez definidos los servicios ecosistémicos, se priorizaron de acuerdo con la percepción de los 15 productores. Los resultados mostraron que los servicios ecosistémicos mejor valorados fueron los de regulación (regulación

hídrica y conservación del suelo), seguido por el de provisión de alimentos (soporte) y, por último, la disponibilidad de nutrientes (provisión) (Tabla 2).

Tabla 2. Calificación de los Servicios Ecosistémicos por parte de los productores.

Servicio Ecosistémico	Cualificación	Tipo
Regulación hídrica	7,6	Regulación
Conservación del suelo	7,4	Regulación
Provisión de alimentos	7,4	Provisión
Disponibilidad de nutrientes	7,1	Provisión
Regulación de clima	6,3	Regulación
Control de la erosión	6,2	Regulación
Captura de carbono	6,1	Soporte
Control de plagas	6,0	Regulación
Hábitat de especies	6,0	Soporte
Enraizamiento	5,9	Soporte
Generación de biomasa	5,9	Soporte
Protección de cultivos	5,8	Regulación
Formación del suelo	5,7	Soporte
Belleza Escénica	4,9	Cultural
Recurso medicinal	4,5	Provisión
Recursos ornamentales	3,6	Provisión
Producción de madera	3,5	Provisión

Fuente: adaptado de: (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y "Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018)

De acuerdo con lo expresado por los productores, los servicios de regulación son más evidentes dentro de sus sistemas productivos, el primer servicio asociado a la regulación fue la regulación hídrica, lo anterior puede derivarse de los problemas asociados a la disponibilidad de agua y el estrés hídrico que esto genera en los cultivos.

El periodo bimodal de lluvia – sequía se ha visto afectado por la variabilidad climática. Los productores identificaron que, en los últimos años, las épocas sequía y lluvia se han vuelto más extremas y poco diferenciales entre sí. Lo anterior ha generado mayor las plagas y enfermedades, caída de la flor del café, erosión del suelo entre otras.

La regulación hídrica ha sido definida como la influencia y la capacidad de los ecosistemas de almacenar o liberar agua regularmente de acuerdo a los periodos lluviosos, el tipo de cobertura y uso del suelo; además, las prácticas de manejo están ligadas a este servicio (Nieto et al., 2015). De acuerdo con lo expresado por los productores, la variedad de café que predomina en los sistemas se deriva de la variedad Colombia (variedad castillo, rosario y supremo) que se caracteriza por plantas de porte bajo, ramas laterales más largas y mayor densidad de siembra por hectárea (Flores R y Arias S, 2017). Según lo anterior, la percepción sobre la importancia de la regulación hídrica reflejada en la evaluación, se ajusta con lo planteado por Jaramillo et al. (2011) quien demostró que la interceptación, percolación y escorrentía de los cafetales sin sombrero es 16% superior en comparación a sistemas agroforestales con árboles, las características antes mencionadas y su combinación con las pendientes de los sistemas productivos generan los problemas de erosión y pérdida de suelos en épocas de lluvia que perciben los productores.

Con respecto al segundo servicio ecosistémico mejor cualificado, es decir, la conservación del suelo, la cualificación de este servicio se asocia a la necesidad de los productores de mantener el suelo en óptimas condiciones para estabilizar o mejorar su productividad. La cualificación alta de un servicio ecosistémico como este, indica que existe una necesidad de intervención en las prácticas de manejo de los sistemas productivos. De la misma manera, el servicio de conservación del suelo influye directamente

en la provisión de alimentos (Monsalve et al., 2019), que fue el tercer servicio mejor cualificado por los productores. A pesar de lo anterior, una investigación previa sobre la agrobiodiversidad en las fincas objeto de estudio, demostró que hay pocas especies sembradas (Rios Estrada, 2019) lo que tiene dos connotaciones: la primera con respecto a las condiciones del suelo ya que, según Caro-Caro y Torres-Mora (2015), la diversificación de especies contribuye al mejoramiento de las condiciones del suelo y al mantenimiento del mismo; y la segunda está asociada a la seguridad alimentaria y es que a pesar de que los productores valoraron la provisión de alimentos el índice de diversidad de los agroecosistemas (IDA) fue bajo, según lo evaluado en 13 de las 15 fincas (Rios Estrada, 2019). La percepción que tienen los productores sobre la importancia de la conservación del suelo para garantizar el mantenimiento de los nutrientes coincide con los valores obtenidos por Bedoya y Marín (2019) en el cual, la disponibilidad de nutrientes del suelo en los 15 sistemas productivos evaluados arrojó valores altos.

Los servicios de regulación (regulación del clima, el control de la erosión y el control de plagas) y de soporte (captura de carbono y el hábitat de especies) obtuvieron una valoración intermedia. Para los productores, estos servicios representan aquellos que son percibidos de manera diferente. La regulación del clima, por ejemplo, ha sido asociada a los cambios en los regímenes de lluvia y sequía por los productores durante los últimos tiempos. De la misma manera, el control de la erosión es un servicio muy apreciado

pues las pendientes de las fincas van desde ligeramente inclinada hasta fuertemente escarpada (Grupo de Investigación en Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos, 2019). Los servicios de soporte valorados en la categoría intermedia, como la captura de carbono y el hábitat de especies, fueron así percibidos por los productores debido a las consecuencias que la deficiencia de estos servicios ocasiona en el ambiente. El hábitat de especies se ha visto disminuido por los cambios del clima. De acuerdo con los productores, algunas especies de aves que eran muy comunes en la zona ya no se encuentran o han cambiado su rango de distribución.

Los servicios ecosistémicos cualificados con valores inferiores a 6 mostraron que, a pesar de que son importantes para los productores, su relevancia es menor que los mencionados anteriormente. Los servicios culturales (Mosquera Mena et al., 2019), por ejemplo, no obtuvieron una valoración alta. Lo anterior puede obedecer al hecho de que los productores son oriundos de la zona y están acostumbrados al paisaje.

El servicio ecosistémico que obtuvo menor valoración por los productores correspondió a la producción de madera, la utilización de madera como combustible ha sido reemplazada por fuentes de energía diferentes como gas, o energía eléctrica; los productores calificaron este servicio más por la extracción de piezas para la construcción que por su utilización como combustible.

Estrategias de conservación y manejo para la conservación de los servicios ecosistémicos

Las estrategias de conservación y manejo de los servicios ecosistémicos se clasificaron de acuerdo con las ventanas altitudinales establecidas en las cuales se encuentran clasificadas las 15 fincas objeto de estudio. De esta manera se definieron los objetivos a los cuales debería apuntar la estrategia de conservación y manejo de los servicios ecosistémicos para lograr estos objetivos (ver Tabla 3).

Ventana 1: los productores de las fincas ubicadas en la ventana 1 deben conservar los servicios ecosistémicos garantizando la producción de sus fincas; para ello se propone que mejoren la funcionalidad ecosistémica y los flujos de biodiversidad en sus predios, así como la disminución de la deforestación y la presión sobre los bosques.

Ventana 2: este rango altitudinal corresponde al considerado óptimo para el desarrollo de la actividad cafetera, las estrategias para esta ventana se enfocan en la productividad sostenible buscando siempre la conservación de los servicios ecosistémicos prestados por los sistemas productivos de café.

Ventana 3: el rango altitudinal de esta ventana se considera restrictivo, la caficultura presenta problemas por la incidencia de plagas y enfermedades bajo los 1.400 msnm; para las fincas de este rango las estrategias se enfocan en la utilización de insumos alternativos, conservación de los recursos hídricos y mejoramiento de la conectividad.

Tabla 3. Estrategias de conservación de los servicios ecosistémicos.

Estrategia	Descripción	Categoría de los Servicios ecosistémicos a mejorar
VENTANA 1		
Mejorar funcionalidad ecosistémica	Mejorar las practicas productivas de aplicación de agroinsumos, incorporación de materia orgánica al suelo, diversificación de especies vegetales	Provisión
Mejorar flujos de biodiversidad	Generar/mantener corredores biológicos	Soporte
Contrarrestar dinámicas de deforestación	Utilizar fuentes alternativas de ingresos, no ampliación de la frontera agrícola.	Regulación
VENTANA 2		
Reducir la emisión de gases de efecto invernadero	Utilizar agroinsumos alternativos que no provengan de síntesis química	Regulación
Mejorar prácticas de manejo	Conservar coberturas vivas, utilización de herramientas menos agresivas	Soporte
Aumento de biodiversidad vegetal	Siembra de árboles en diferentes arreglos agroforestales	Soporte
Mejorar la conectividad ecosistémica	Generar espacios de corredores biológicos	Regulación
VENTANA 3		
Mejorar el control biológico	Utilizar agroinsumos de origen biológico para prevenir y controlar plagas y enfermedades	Regulación
Adaptación del sistema productivo	Mejoramiento del sistema de productivo de café a través de la diversificación (incorporación de árboles y rotación de cultivos)	Soporte
Mantener los recursos hídricos	Mejorar y mantener las coberturas del suelo para disminuir escorrentía.	Regulación

Fuente: Autores

La implementación de las estrategias de conservación y manejo de los servicios ecosistémicos permitirán que los productores mejoren la percepción que tienen sobre los mismos, ya que estos identifican las acciones que aumentan la disponibilidad de cada uno de ellos. En este mismo sentido, se espera que los servicios culturales aumenten a medida que se generen procesos de apropiación del territorio con la implementación de las estrategias.

4. CONCLUSIONES

Los servicios ecosistémicos mejor cualificados correspondieron a los de regulación (hídrica, conservación de suelos) los cuales fueron más fácilmente identificados por los productores en el desarrollo de sus actividades diarias en los sistemas de producción.

La disponibilidad de alimentos, calificada en cuarto lugar, se percibe como los beneficios directos que se obtienen de los sistemas productivos; a pesar de la cualificación del servicio la diversificación no es una constante en los sistemas evaluados.

La metodología de análisis multicriterio con base en la jerarquización y cualificación permite el diseño de estrategias que pueden ser llevadas a cabo para la toma de decisiones dentro de los sistemas productivos.

Los sistemas de producción evaluados a través de la percepción de sus propietarios tienen en común los modelos de producción basados en la rentabilidad y el aumento de la productividad, a pesar de lo anterior los productores son conscientes de los beneficios de la naturaleza (servicios ambientales) y su importancia para la conservación.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer Autor: Investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura borrador

original y ajustes. **Segundo Autor:** Investigación, metodología, dirección del proyecto marco de investigación. **Tercer Autor:** Logística, revisión, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura borrador original. **Cuarto Autor:** Logística, revisión y edición, conceptualización. **Quinto Autor:** Metodología, investigación y análisis de datos. **Sexto Autor:** edición y revisión del texto final, apoyo en la metodología, investigación y análisis de datos. **Séptimo Autor:** logística, elaboración de mapas y coberturas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Proyecto "Servicios ecosistémicos, adaptación al cambio climático y planificación del territorio: estrategias para el manejo de sistemas socio ecológicos en la zona cafetera de Colombia" (Código 111074558624 Contrato N° 048-2017 Financiado por Colciencias), a la Asociación de productores de Alta Calidad Cuchilla de San Juan del Municipio de Belén de Umbría.

LITERATURA CITADA

- Alvarez, P., Ayuso, A. M., De la Cruz, J. L., Guiata, N., Jimenez, L. M., Landa, L., Morán, A. (2011). Biodiversidad en España. base de la sostenibilidad ante el cambio global. Observatorio de la Sostenibilidad en España. Recuperado de <https://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0637187.pdf>
- Bedoya, B. D., y Marín, J. (2019). Valoración ecológica de los servicios ecosistémicos prestados por el suelo en fincas cafeteras de la Cuchilla de San Juan, municipio de Belén de Umbría, Colombia (Tesis de Pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- Botero, J. E., Lentijo, M. G., y Sánchez, M. L. (2014). Biodiversidad en zonas Cafeteras de Colombia. *Avances Técnicos Cenicafe*, 444, 12. <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/469/1/avt0444.pdf>
- Caro-Caro, C. I., y Torres-Mora, M. A. (2015). Servicios ecosistémicos como soporte para la gestión de sistemas socioecológicos: aplicación en agroecosistemas. *Orinoquia*, 19(2), 237. <https://doi.org/10.22579/20112629.338>

- De Groot, R., Fisher, B., y Christie, M. (2010). Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation. In P. Kumar (Ed.), *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations* (Issue January, pp. 149–182). Earthscan. <https://doi.org/10.4324/9781849775489>
- De Groot, R., Wilson, M., y Boumans, R. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393–408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- Echavarría, J. J., Esguerra, P., McAllister, D., y Robayo, C. F. (2015). Informe de la misión de estudios para la competitividad de la caficultura en Colombia. Recuperado de <https://www.urosario.edu.co/Mision-Cafetera/Archivos/Resumen-Ejecutivo-version-definitiva/>
- Espinoza, W., Krishnamurthy, L., Vázquez, A., y Torres, A. (2012). Almacén De Carbono En Sistemas Agroforestales Con Café. *Revista Chapingo Seria Ciencias Forestales y Del Ambiente*, XVIII(1), 57–70. <http://dx.doi.org/10.5154/rchscfa.2011.04.030>
- Farfán, F. (2017). Sistemas de producción con café a libre exposición solar o en sistemas agroforestales Condiciones para su establecimiento. *Avances Técnicos Cenicafé*, 851, 839–851.
- Federación Nacional de Cafeteros, y CENICAFÉ. (2018). *Informe Anual Federación Nacional de Cafeteros - CENICAFÉ* (P. Benavides, J. Ramos, E. Góngora, J. Acuña, y M. Diana (eds.)).
- Florez R, C. P., y Arias S, J. C. (2017). Guía para la caracterización de las variedades de café: Claves para su identificación. *Avances Técnicos Cenicafé*, 476, 1–12.
- Gonzalez Gonzalez, M., y Serna Giraldo, C. A. (2018). Servicios ecosistémicos potenciales en el sector cafetero Colombiano. *Cenicafe*, 69(2), 34–46.
- Grupo de Investigación en Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos. (2019). Informe Preliminar de resultados del proyecto Servicios ecosistémicos, Adaptación al Cambio Climático y Planificación del Territorio: Estrategias para el manejo de Sistemas Socioecológicos en la zona Cafetera de Colombia.
- Jaramillo, Á., Ramírez, V., y Arcila, J. (2011). Distribución de la lluvia clave para planificar las labores en el cultivo del café en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 411, 1-8.
- Martín, B., Gómez, E., y Montes, C. (2009). Un marco conceptual para la gestión de las interacciones naturaleza-sociedad en un mundo cambiante. *Cuides - Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible*, 3, 229–258.
- Maya, J. M., y Camargo, J. C. (2019). Sensoramiento remoto y vehículos aéreos no tripulados (VANT) para la caracterización de agroecosistemas cafeteros / Servicios ecosistémicos, adaptación al cambio climático y planificación del territorio: Estrategias para el manejo de Sistemas Socioecológicos en la zona Cafetera de Colombia.
- Mendoza, G. A., Macoun, P., Prabhu, R., Sukadri, D., Purnomo, H., y Hartanto, H. (1999). Guidelines for applying multi-criteria analysis to the assessment of criteria and indicators. In Guidelines for applying multi-criteria analysis to the assessment of criteria and indicators. Center for International Forestry Research - CIFOR. <https://doi.org/10.17528/cifor/000769>
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC.
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2019). Plataforma de Datos Abiertos de Colombia. <https://www.datos.gov.co/>
- Monsalve, L. M., Valencia, F. L., Guzmán, A. R., Duque, C. M., Pérez, D. A., Valderrama, ..., Polanco, M. F. (2019). Servicio ecosistémico de abastecimiento: alimentos. En *Servicios ecosistémicos: un enfoque introductorio con experiencias del occidente Colombiano*, Cap. 2, pp. 35-56. <https://doi.org/10.22490/9789586516358.02>
- Montenegro, S. P., Barrera, S. E., Chiriví, J. S., Pulido, S. Y., Sepúlveda, Y. A., Vinasco, M. C., y Palomino Leiva, M. L. (2019). Prevención de la erosión y conservación de la fertilidad del suelo. En *Servicios ecosistémicos: un enfoque introductorio con experiencias del occidente Colombiano*, Cap. 9. 172-187. <https://doi.org/10.22490/9789586516358.09>
- Mosquera Mena, R. A., Carmona Cadavid, M. E., Pulido Pulido, S. Y., Vinasco Guzmán, M. C., Moraes Boldini, J., Barrera Berdugo, S. E., y Montenegro Gómez, S. P. (2019). Recursos Medicinales. En *Servicios ecosistémicos: un*

enfoque introductorio con experiencias del occidente Colombiano, Cap. 4. 172-187. <https://doi.org/10.22490/9789586516358.04>

Muñoz, J., Camargo, J. C., y Romero, C. (2017). Beneficios de los bosques de guadua como una aproximación a la valoración de servicios ecosistémicos desde la "Jerarquización y Calificación". *Gestión y Ambiente*, 20(2), 222-231. <https://doi.org/10.15446/ga.v20n2.66603>

Nieto, M., Cardona, L. y Agudelo, C. (2015). Análisis de servicios ecosistémicos. Provisión y regulación hídrica. En: Ungar, P. (ed.) (2015). Hojas de ruta. Guías para el estudio socioecológico de la alta montaña en Colombia. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <http://hdl.handle.net/20.500.11761/9296>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Guía de buenas la gestión y uso prácticas para de los suelos sostenible en áreas rurales. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Pulido, S. Y., Mosquera, R. A., Rodríguez, S. A., Fonseca, M. R., Montenegro, S. P., Valencia, F. L., y Barrera, S. E. (2019). Hábitat para especies. En *Servicios ecosistémicos: un enfoque introductorio con experiencias del occidente Colombiano*, Cap. 12. 172-187. <https://doi.org/10.22490/9789586516358.12>

Ramírez, V., Jaramillo, Á., y Arcila, J. (2010). Índices Para Evaluar El Estado Hídrico En Los Cafetales. *Cenicafé*, 61(1), 55-66.

Rios Estrada, S. K. (2019). Aproximación metodológica para la valoración ecológica de servicios ecosistémicos generados por la agrobiodiversidad en sistemas productivos cafeteros en el municipio de Belén de Umbria (Tesis de Pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.

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.

EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DEL SISTEMA DOMICILIARIO PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA SEGURA, CORREGIMIENTO SAN FERNANDO, NARIÑO

EFFICIENCY EVALUATION OF THE DOMICILIARY SYSTEM FOR SAFE WATER SUPPLY, SAN FERNANDO DISTRICT

Álvaro Javier Ceballos Freire

Ingeniero agroforestal, Universidad de Nariño

aceb1980@udenar.edu.co

RESUMEN

Contextualización: las zonas rurales colombianas presentan un déficit en cobertura del servicio de abastecimiento de agua segura o en la eficiencia de los sistemas de tratamiento implementados, en términos de remoción de agentes patógenos.

Vacío de conocimiento: las aguas que se usan para el consumo no se tratan adecuadamente, sumado a la deficiente cobertura de abastecimiento de la misma, y a pesar de que la población realiza por cuenta propia el tratamiento del agua, no se garantiza que esté en óptimas condiciones para su consumo.

Propósito del estudio: el objetivo de esta investigación fue determinar la eficiencia de remoción de un sistema domiciliario no convencional para el abastecimiento de agua segura en el corregimiento de San Fernando – Municipio de Pasto, Colombia.

Metodología: se desarrollaron tres fases: la primera, estableció el diagnóstico de la zona de estudio, el cual contempló un mapa de riesgo, caracterización de la fuente de abastecimiento, caracterización físico-espacial, socioeconómica y cultural, selección de muestra de la población y formulación de indicadores; la segunda, definió la tecnología por implementar a través del análisis multicriterio y el proceso de análisis jerárquico con seis expertos, donde también se diseñó e implementó la estrategia de transferencia participativa para la higiene y el saneamiento, complementada con los procesos de enseñanza y aprendizaje; y la tercera, determinó la eficiencia del sistema de abastecimiento de agua segura implementado.

Resultados y conclusiones: por medio de tres seguimientos de toma de muestras, y la comparación con las muestras de agua cruda obtenidas en la caracterización, se determinó

que el sistema de tratamiento es 99% eficiente en la remoción de turbidez, coliformes totales y coliformes fecales, lo que garantiza el consumo de agua segura en la población. Por otro lado, es importante considerar que el éxito de las tecnologías no convencionales está ligado a la transferencia social que se aplique a lo largo de su implementación; la apropiación que la comunidad le dé al sistema es vital para su sostenibilidad en el tiempo y el seguimiento que se realice al proceso por parte de los líderes sociales de la zona.

Palabras clave: filtro; patógeno; eficiencia; agua potable.

ABSTRACT

Contextualization: Colombian rural areas have a deficit in the coverage of safe water supply service. In addition, the treatment systems already implemented are not efficient enough in the removal of pathogens.

Knowledge gap: The waters used for consumption are not treated properly, added to the poor coverage of its supply, and despite the fact that the population carries out the water treatment on its own, it is not guaranteed that it is in optimal conditions for its consumption.

Purpose: The objective of this investigation was to determine the removal efficiency of an unconventional household system for the supply of safe water in the San Fernando District – Municipality of Pasto, Colombia.

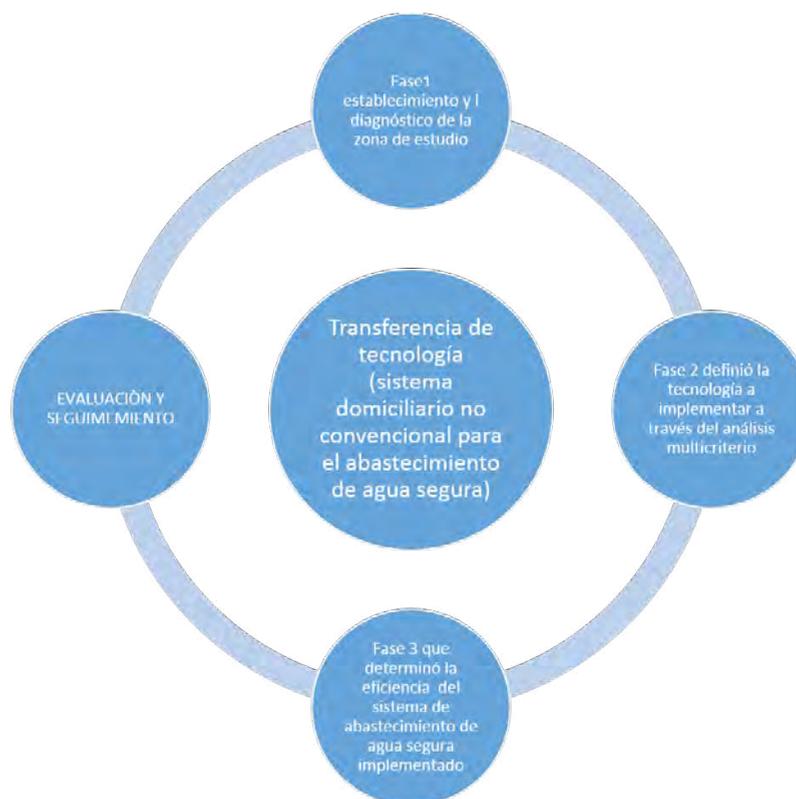
Methodology: Three phases were developed: the first, was the diagnosis of the study zone, which included a risk map, characterization of the supply source, physical-spatial, socio-economic and cultural characterization, selection of the population under study and formulation of indicators; the second, defined the technology to be implemented through the multicriteria analysis and hierarchical analysis process with 6 experts, where the participatory transfer strategy for hygiene and sanitation was also designed and implemented, complemented with the teaching-learning strategy; and the third, determined the efficiency of the safe water supply system implemented.

Results and conclusions: By mean of three monitoring samples and the comparison with the raw water samples obtained in the characterization, it was determined that the treatment system was 99% efficient in the turbidity removal, total coliforms and fecal coliforms, which guarantees the consumption of safe water in this population. On the other hand, it is important to consider that the success of unconventional technologies is linked to the social transfer that is applied throughout their implementation; the appropriation that the community gives to the system is vital for its sustainability over time and for the follow-up process developed by the social leaders of the area.

Keywords: filter; pathogen; efficiency; Water for consumption.

RESUMEN GRÁFICO

Procesos investigativos en la transferencia e implementación de un sistema domiciliario no convencional para abastecimiento de agua segura.



1. INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico es uno de los elementos esenciales en el sustento de la vida y es fundamental en el desarrollo del ser humano, puesto que requiere diferentes cantidades y calidades específicas según lo demande cada una de las actividades de vital importancia, como lo son el consumo y las actividades productivas, para garantizar así su sostenimiento en el tiempo (Pontificio Consejo de Justicia y Paz, 2012). También afecta los patrones de vida y cultura regionales. Por esto, se le reconoce como un agente preponderante en el desarrollo de las comunidades (FUSDA, 2008). El agua puede resultar alterada fácilmente a causa de procesos antrópicos y naturales, lo cual, en consecuencia, puede repercutir negativamente en la salud humana (Fernández, 2012).

La calidad del agua vendría determinada por la erosión del sustrato mineral, los procesos atmosféricos de evapotranspiración y sedimentación de lodos y sales, la lixiviación natural de la materia orgánica y los nutrientes del suelo por los factores hidrológicos, y los procesos biológicos en el medio acuático que pueden alterar la composición física y química del agua (ONU, 2014). En cuanto a la acción antrópica, la calidad del agua estaría condicionada por varias fuentes, debido a procesos de eutrofización provocados por escorrentías agrícolas, aguas residuales domésticas y efluentes industriales, entre otros (Espinosa, 2014).

El acceso al agua potable es uno de los derechos humanos básicos y un componente fundamental de las políticas eficaces de protección de la salud en las comunidades (NUDH, 2011). Según la OMS (2004), el agua no debe presentar ningún tipo de alteración ni riesgo que pueda causar irritación química, intoxicación o infección microbiológica que sea perjudicial a la salud humana.

En el departamento de Nariño (Colombia), la cobertura de acueducto urbano es del 89% y la de acueducto rural del 64%. La cobertura de agua potable para el departamento fue del 85% en la zona urbana y del 2,6% en el área rural, es decir, el 97.4% restante se abastece de agua que no está catalogada como apta para el consumo humano (Instituto Departamental de Salud de Nariño, 2016).

El corregimiento de San Fernando, localizado en el departamento de Nariño, es un claro ejemplo de la problemática anteriormente mencionada, puesto que no cuenta con una cobertura completa de abastecimiento de agua potable y, a pesar de que la población realiza por cuenta propia el tratamiento del agua utilizando únicamente el proceso de cloración, no se garantiza que esté en óptimas condiciones para su consumo (JAL, 2017). Según la Subsecretaría de Planeación y Calidad de Pasto (2018), la población del corregimiento de San Fernando en el año 2017 reportó 148 casos de gastritis, 157 casos de amebiasis y parasitosis, 38 casos de gastroenteritis, 12 casos de estreñimiento, 3 casos de cálculos biliares y 1 caso de colitis.

Las intervenciones de tratamiento doméstico del agua (TDA), pueden contribuir en gran medida a la protección de la salud pública en situaciones en las que el agua de consumo de diversas fuentes, incluso el agua entubada u

otras fuentes mejoradas, no recibe un tratamiento adecuado o se contamina durante su distribución o almacenamiento (OMS, 2012). Por todo lo anterior, la implementación de sistemas de tratamiento de agua de tipo no convencional se convierte en una alternativa viable para la depuración de agentes patógenos, garantizando así las condiciones óptimas para el consumo o preparación de alimentos.

Por esto, esta investigación tuvo como objetivo evaluar un sistema domiciliario de tipo no convencional para el mejoramiento de la calidad de agua de consumo humano en población vulnerable en el municipio de Pasto, corregimiento de San Fernando. Se realizó un diagnóstico integral enfocado al abastecimiento y consumo de agua y posterior a ello, un seguimiento del sistema domiciliario de tipo no convencional de agua para consumo. Se determinó la eficiencia de la tecnología y la transferencia social a la población objeto de estudio, a partir del diagnóstico de la comunidad, definición de la tecnología y la determinación del porcentaje de eficiencia en la remoción de patógenos en el agua de consumo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en la vereda de Alto San Fernando en el corregimiento de San Fernando, que tiene una población de 250 habitantes equivalente a 90 familias, localizada en el municipio de Pasto (Nariño, Colombia) a 4 kilómetros de la ciudad de San Juan de Pasto con una altura de 2800 m.s.n.m., su posición geográfica es de 1°13'14.78" latitud norte y 77°13'35" longitud oeste, presenta un clima frío con temperaturas que se establecen entre 10°C y 14°C (JAL, 2017).

Para dar cumplimiento al objetivo de esta investigación se desarrollaron tres fases, la primera de ellas el diagnóstico; la segunda, la

definición de la tecnología; y la tercera, la determinación de la eficiencia de la tecnología. Dentro del análisis y elaboración de las figuras se usó el software Excel de Microsoft.

El diagnóstico integral propuesto en la investigación incluye los aspectos sociales, culturales, económicos, ambientales en la evaluación y el análisis situacional de cada familia involucrada en la investigación. Se aplicó una encuesta semiestructurada con múltiples respuestas orientadas a la selección de una de ellas, la cual se abordó desde diferentes contextos, teniendo en cuenta ítems de vulnerabilidad, ingresos, condición de la familia, presencia de adultos mayores y niños (núcleo familiar).

Se utilizó la técnica jerárquica ponderada, en la cual se incluyeron criterios cualitativos y cuantitativos, para lograr una única decisión en cuanto a la tecnología a incorporar en la investigación, incluyendo aspectos profesionales (expertos), económicos, técnicos y ambientales que llevaron a un análisis matemático para dicha decisión.

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE CADA UNA DE LAS FASES

Fase diagnóstica

Caracterización físico espacial económica y cultural de la comunidad: la primera fase de elaboración de este diagnóstico integral se basó en el manual de introducción a la gestión ambiental municipal propuesto por el CEPPIA (2011), establece la calidad de la fuente de abastecimiento y su influencia en la población de la zona.

Se utilizó un enfoque metodológico mixto que combina la revisión de información secundaria con la obtención de información primaria a

través de la aplicación de encuestas y entrevistas semiestructuradas a actores clave. La información secundaria se recopiló con base en la suministrada por El Instituto Departamental de Salud de Nariño (2016) a través de sus canales oficiales y el último censo sanitario (JAL, 2017).

Se diseñó una encuesta semiestructurada con 42 preguntas de única respuesta y selección múltiple, orientada a generar información sobre aspectos sociales, características de la familia, condiciones de vivienda, agua para consumo humano, saneamiento básico y cultura (ver Archivo suplementario 1). Para esto se consideraron aspectos basados en las metodologías propuestas y ejecutadas por Patiño et al. (2015) y León-Agatón et al. (2015).

Selección de muestra de estudio: la muestra objeto de estudio, se calculó mediante la fórmula propuesta por Lagares & Puerto (2001) (ver Archivo Suplementario 1), teniendo en cuenta, un grado de confianza del 90% (Z), una probabilidad de ocurrencia del 90%(p) y un error estándar estimado del 10% (e), en este sentido se obtuvo un total de 90 familias por intervenir, la ponderación de criterios de selección de beneficiarios se realizó a través de un muestreo no paramétrico (Trejos, 2007) en tres etapas.

En la primera fase se identificaron las características de la población en los 90 hogares seleccionados a través de las encuestas programadas; en la segunda etapa, mediante el software Excel 2013, se estableció un mecanismo técnico para el registro de beneficiarios potenciales, codificando las variables a través de categorías exclusivas e independientes a cada pregunta de la encuesta. Por último, se calificó con un valor de 1 a las familias que presentaban los siguientes criterios:

población más vulnerable (población infantil y adultos mayores), ingresos económicos en el hogar menores a un S.M.L.V, si el hogar no tiene acceso a un sistema de salud, estrato social uno, si no cuenta con acceso de agua segura y condiciones de la vivienda (piso en barro - paredes en tapia); los hogares con mayor puntaje fueron los seleccionados. Por otro lado, una vez se conoció la vulnerabilidad y las condiciones de vida de las familias, se definió los criterios económicos, técnicos, sociales y ambientales que apoyaron la selección de la tecnología.

Con base en la información recopilada, se realizó el mapa de riesgo de calidad de agua para consumo humano (ver Archivo suplementario 1), a través de la metodología propuesta por Carvajal (2012) y la Resolución 4716 de 2010 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MINAMBIENTE, 2010).

Para ello se usó el software ArcGis versión 10.1 a escala 1:25.000 en donde, se identificaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos por analizar, de acuerdo con la Resolución 2115 de 2007 y el Decreto 1575 de 2007, expedido por el Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT, 2007) y el Ministerio de la Protección Social (2007), en las dos bocatomas de abastecimiento del corregimiento de San Fernando.

De igual forma, se realizó un muestreo en el punto de abastecimiento directo en una vivienda al azar, posteriormente fueron llevados a un laboratorio certificado por la NTC-ISO 5667; finalmente se estableció la línea base de las condiciones iniciales en cuanto a la calidad del agua.

Caracterización físico-espacial, socioeconómica y cultural

Fase definición de la tecnología

En la segunda fase se definió la tecnología a través del modelo multicriterio propuesto por Mazorra & González (2012); para el desarrollo de este modelo en primera instancia se definieron seis expertos en temas de abastecimiento seguro de agua, saneamiento y de entorno saludable. Paralelamente, se efectuó una revisión bibliográfica que identificó diferentes sistemas domiciliarios de tipo no convencional para consumo de agua segura y se realizó un catálogo de alternativas que puedan ser efectivas en el tratamiento de agua potable con sus respectivas características.

Posteriormente, se hizo una consulta con estos expertos para preseleccionar cuatro estrategias viables por medio de la técnica de análisis jerárquico ponderado propuesta por Moreno (2012) (ver Archivo Suplementario 1). Para esta jerarquización, se asignó a cada una de las estrategias un puntaje del uno al diez, donde el puntaje de diez indicaba la mayor importancia y el puntaje uno, la menor importancia; no se repitió ningún puntaje. Una vez se obtuvieron las cuatro estrategias, los expertos calificaron los pesos de criterios formulados en la fase de diagnóstico:

- **Técnico:** qué tan eficiente es la remoción de agentes patógenos.
- **Ambiental:** la no generación de residuos que puedan afectar el medio ambiente.
- **Económico:** cuáles son los costos de adquisición, operación, mantenimiento y si representa ingresos o egresos.
- **Social:** Si minimiza la vulnerabilidad ante posibles enfermedades.

Para efectos de la calificación, se tuvo en cuenta la intensidad de importancia (Tabla 1) y el razonamiento de opuestos que dicta: si la fila es absolutamente más importante que la

columna y tiene una potencia de 9, entonces la columna tiene que ser absolutamente menos importante que la fila y está valorado en 1/9 (Mazorra & González, 2012).

Tabla 1. Intensidad de criterios.

Intensidad de importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos factores contribuyen igualmente en el objetivo
3	Algo más importante	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente uno sobre el otro
5	Mucho más importante	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente uno sobre el otro
7	Muchísimo más importante	La experiencia y el juicio favorecen muy fuertemente sobre el otro. Su importancia se demuestra en la practica
9	Absolutamente más importante	La evidencia a favor de uno sobre el otro es de la validez más alta posible

Fuente: Moreno, 2012.

Una vez se ejecutó la ponderación de los criterios, los seis expertos evaluaron los cuatro (4) sistemas seleccionados de acuerdo a cada uno de los criterios técnico, ambiental, económico y social. Igualmente, para efectos de la calificación se tuvo en cuenta la intensidad de criterios (Tabla 1) y el razonamiento de opuestos.

Al obtener la calificación por cada experto, los resultados fueron transcritos en una matriz de datos en el software Excel 2013, los cuales, se normalizaron mediante la función "Normalización", con el fin de ajustar los valores de cada columna (variable) con base en la media y desviación estándar de cada grupo de datos completos. Posteriormente, se obtuvo el vector de prioridad a través del promedio de los valores de la matriz normalizada. Para el valor del vector de prioridad de cada tecnología, se calculó su ponderado y este a su vez se multiplicó por el valor del vector de prioridad de cada criterio,

obteniendo así el sistema a seleccionar a través de la generación de un gráfico radial realizado en el mismo software. En este se puede visualizar el aporte de cada sistema sobre los criterios establecidos en la fase diagnóstica y su orden de importancia a través de un ranking descendente, en donde el de mayor valor sea el mejor.

Implementación de la estrategia de transferencia social

En relación con la ejecución de una adecuada transferencia social hacia la comunidad, se establecieron cinco reuniones. En la primera, se realizó un acercamiento con los líderes comunitarios y la comunidad seleccionada, considerando que generar un ambiente social de aceptación por parte de la comunidad aumenta la probabilidad de éxito de apropiación de la estrategia social (Murtagh, 2009). Se realizó entonces la socialización del proyecto, donde se presentó el equipo de trabajo, la justificación del desarrollo

de la investigación, las actividades que se llevarían a cabo en la zona de estudio, las características de los sistemas de tratamiento doméstico de agua y la importancia de la higiene y saneamiento a través de un sociodrama con actividades lúdicas y se consolidó el compromiso de la comunidad con la participación activa en el proyecto.

En la segunda reunión con la comunidad, se organizó una charla para presentar el sistema no convencional por implementar, sus características, y propiedades fundamentales. Asimismo, se explicó la importancia de implementarlo en cada hogar y se habló sobre los conceptos básicos de uso y mantenimiento de los mismos.

En la tercera, cuarta y quinta reunión con la comunidad, se llevó a cabo el desarrollo de la guía de transferencia participativa para la higiene y el saneamiento, propuesta por la Organización Mundial de la Salud (2012) y fue complementada con los procesos de enseñanza aprendizaje propuesta por Murtagh (2009) con el fin de lograr una adecuada apropiación de la tecnología. Cabe resaltar que también se realizaron seguimientos mensuales para determinar si se ha presentado un adecuado uso y mantenimiento por parte de la comunidad mediante un formato de evaluación técnico propuesto por (Leonel *et al.*, 2016).

Para la tercera y última fase de la determinación de la eficiencia de la tecnología se contempló: la selección, capacitación y el seguimiento en su instalación, uso y manejo (metodología Organización Mundial de la Salud 2012), para lo cual se tomaron muestras de agua del sistema de abastecimiento implementado, y se compararon con las muestras de agua sin tratamiento obtenidas en la caracterización de la calidad del agua, en comparación con la normativa (Resolución 2115/MAVDT, 2007).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fase diagnóstica: la vereda Alto San Fernando limita al nororiente con el corregimiento de La Laguna, al norte con las veredas, La Cadena y El Común, al sur oriente con el corregimiento de Mocondino. La comunidad se abastece con dos bocatomas, ubicadas en de la quebrada Tábano y Chauperrío, captando un caudal de 11 l/s. El acueducto se construyó hace 40 años y desde hace 14 años no se realiza el mantenimiento a la red de tubería que distribuye el agua (JAL, 2017). El acueducto es administrado por una Junta local y se financia a través de recursos de la comunidad.

Para la fase de diagnóstico se realizó el mapa de riesgo de acuerdo a la Resolución 4716 de 2010 (MINAMBIENTE, 2010) (Anexo 1); aguas arriba de las bocatomas no se presenta ningún factor antrópico que pueda alterar la calidad del agua; justo antes de la primera bocatoma hay una caída de agua de aproximadamente 30 metros. Según Sánchez (2016) la caída de agua y el choque con rocas mejora la calidad del agua al aumentar las concentraciones de oxígeno disuelto en los componentes de los caudales.

Por otro lado, el agua que ingresa a la bocatoma ubicada sobre la quebrada Tábano presenta dicho beneficio; en la segunda bocatoma se registró un movimiento masal que arrasó con la capa vegetal que cubría el cuerpo de agua. Los predios aledaños a las bocatomas son propiedad de CORPONARIÑO y hacen parte de una zona de conservación.

Por lo anterior, se estableció que los parámetros por analizar para determinar la calidad del agua, teniendo en cuenta puntaje de riesgo, son: pH (1.5), color aparente (6), alcalinidad (1), hierro (1.5), sulfatos (1), cloruros (1), cloro residual (1.5), dureza total (1), turbidez (15), coliformes totales (15) y *E. Coli* (25), según el MAVDT (Resolución 2115 de 2007).

Calidad de la fuente de abastecimiento: la caracterización fisicoquímica realizada a las dos bocatomas determinó que los parámetros fisicoquímicos están dentro de lo estipulado por la normativa. Sin embargo, los parámetros microbiológicos como los coliformes totales y *E. Coli* la incumplen. El Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) para las dos fuentes hídricas es de 48,5% con una clasificación de riesgo alto para consumo humano, de acuerdo al Artículo 15 de la Resolución 2115 de 2007. La red de distribución a lo largo de su trayecto por toda la vereda presenta alteraciones microbiológicas y estas se agravan a medida que el agua llega al tramo más bajo, donde se presenta además la alteración de los parámetros

fisicoquímicos como el color aparente y turbidez, incumpliendo la norma.

Las estructuras de red de distribución de agua pueden realizar un proceso de colmatación al no presentar un adecuado mantenimiento, esto genera una contaminación al contacto con el agua (UNICEF, 2005). La red de distribución de la vereda Alto San Fernando presenta dicha problemática; al no presentarse un mantenimiento de la tubería hace 14 años, el agua tratada se vuelve a contaminar, posiblemente por el proceso de colmatación de la tubería y por medio de conexiones erradas. El índice de riesgo se mantiene en un nivel alto (Tabla 2).

Tabla 2. Calidad de la fuente de abastecimiento.

		Calidad de la fuente					Normatividad
Parámetro	Unidades	Bocatomas		Agua en red			Resolución 2115 de 2007
		B1	B2	C1	C2	C3	
pH	pH	6,9	6,8	7,3	6,6	7,3	Cumplen
Color aparente	UPC	3	3,6	8	4,1	*31	Cumplen - *No cumple
Turbidez	NTU	0,26	0,21	1,39	0,34	2,66*	Cumplen- * No cumple
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /l	62	54	22	56	22	Cumplen
Hierro	mg Fe/l	0,14	0,13	0,14	0,1	0,28	Cumplen
Sulfatos	mg SO ₄ ⁻² /l	1	1	1	1,4	1	Cumplen
Cloruros	mg Cl ⁻ /l	9,7	8,7	1,5	6,3	1,5	Cumplen
Cloro residual	mg/ Cl ₂ /l	0,03	0,02	0,01	1,1	0,02	Cumplen
Dureza total	ppm CaCO ₃	32	34	24	28	20	Cumplen
Coliformes totales	NMP/100 ml	17	27	3	48	150	No cumplen
E. coli	NMP/100 ml	1	1	3	74	64	No cumplen
IRCA	%	48,2	48,2	48,2	48,2	73,5	
Clasificación del riesgo	Nivel	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	

Fuente: autor

De las encuestas realizadas, se pudo determinar que el 96% de personas consume agua del sistema de acueducto; entendiéndose que la calidad del agua en la red de distribución no es apta para consumo humano, según la caracterización realizada se encuentra una problemática sanitaria. La OMS (2012) establece que el agua no apta para consumo humano y el saneamiento deficiente, están relacionados con la transmisión de enfermedades como cólera, enfermedades diarreicas agudas (EDA), disentería, hepatitis A, fiebre tifoidea y poliomielitis.

El deterioro de la salud lleva a que las comunidades retrasen su desarrollo económico, social y cultural, puesto que afecta la normalidad de sus actividades productivas tales como su trabajo, educación y recreación. Además, cuando los infantes adquieren enfermedades, se deteriora su desarrollo físico y emocional (Alleyne & Cohen, 2003).

Cabe resaltar que el Plan de Desarrollo Municipal (Alcaldía municipal de Pasto, 2016-2019) no estableció proyectos para la construcción de una planta de tratamiento de agua potable en el corregimiento de San Fernando. Por lo anterior, la implementación de tratamientos domésticos de agua se vuelve una alternativa ideal que, de manera inmediata y momentánea, permite a las comunidades tener acceso a agua segura para evitar problemas de salubridad y a la vez mejorar su calidad de vida mientras se les da una solución definitiva (Grisales, 2009).

Caracterización físico-espacial, socioeconómica y cultural: según la clasificación de suelo rural del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Pasto, "Territorio Con-Sentido (2014-2027)", se pudo determinar que la vereda tiene suelo apto para actividades como la agricultura, el turismo, la ganadería, forestales y la industria. Presenta vías de tipo primaria

y secundaria y se ubica a 2 kilómetros de la variante que conecta con el casco urbano de Pasto. Con el fin de conocer los ingresos y las condiciones de habitabilidad de las familias, se determinó que el 85% de las familias cuenta con vivienda propia. El 70 % de las familias cuenta con 2 a 3 habitaciones. El 67% de las viviendas están construidas en materiales de cemento y ladrillo, el 23% en tapia y el 10% en madera. El 90% de las viviendas tiene piso en cemento y granito. Por otra parte, el 85% de las familias de la vereda Alto San Fernando tienen ingresos menores a 1 S.M.L.V (Alcaldía de Pasto, 2014).

Las instituciones que se presentan en la vereda son la Gobernación de Nariño, Alcaldía de Pasto, Instituto Departamental de Salud, CORPONARIÑO, Universidad de Nariño, Universidad Mariana, SENA, hogar comunitario del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF), Institución Educativa Municipal San Fernando; también cuenta con la Junta de Administradora de acueducto y la Junta de Acción Comunal.

Selección de la muestra de estudio: la muestra significativa para la investigación, según lo propuesto por Lagares & Puerto (2001), fue de 15 familias, y se seleccionó con base en los requerimientos y vulnerabilidades asociados a la infraestructura y manejo en el consumo de agua en relación con el núcleo familiar e individuos con alto grado de susceptibilidad (edad).

De las 90 familias, una vez ejecutada la metodología de ponderación de criterios para la selección de beneficiarios propuesta por Trejos (2007), nueve familias tuvieron calificaciones de 9 puntos, dos familias con calificaciones de 8,5 puntos y cuatro familias con calificaciones de 8 puntos, siendo estas las 15 familias beneficiarias para ser la muestra objeto de estudio al tener la mayor puntuación.

Fase determinación de la tecnología

Análisis multicriterio: los expertos dieron un 40,391% de prioridad al criterio técnico, un 25,579% al criterio social, un 25,452% al criterio económico y un 8,578% al criterio ambiental (Anexo 1).

Los criterios técnico y social establecen el valor más alto, puesto que los expertos consideran que, en el desarrollo de un proceso que busca establecer un sistema adecuado en el abastecimiento de agua segura, lo importante es encontrar una tecnología eficiente para remover agentes patógenos y que sea de fácil apropiación por parte de la comunidad, con el fin de mantener los sistemas en óptimas condiciones y garantizar su sostenibilidad en el tiempo.

Cabe resaltar que, de igual forma, los expertos

señalan que el criterio económico no tuvo gran discrepancia respecto al criterio social puesto que el desarrollo de estas investigaciones está muy ceñido a la disponibilidad de recursos. Por otra parte, el criterio ambiental tuvo el puntaje más bajo al considerarse que la generación de residuos no iba a ser a gran escala y que el beneficio que se obtendría sería mucho mayor.

Las alternativas del sistema de tratamiento no convencional analizadas fueron: filtro sawyer; filtro de cerámica tipo vela; filtro lifestraw family; filtro sifón; filtro de bioarena; filtro de cerámica tipo olla; filtro nerox; filtro max power; purificador watly; y purificador de agua genesse de las cuales se preseleccionaron la opción A. filtro sawyer, opción B. filtro lifestraw family, opción C. filtro sifón y opción D. filtro de bioarena (Tabla 3).

Tabla 3. Preselección de las tecnologías no convencionales para abastecimiento de agua segura.

Tecnologías	Experto						Total
	1	2	3	4	5	6	
Filtro sawyer	10	8	10	10	10	10	58
Filtro de cerámica tipo vela	5	9	1	4	5	7	31
Filtro lifestraw family	9	5	8	9	8	6	45
Filtro sifón	6	6	5	7	7	8	39
Filtro de bioarena	8	4	9	8	9	5	43
Filtro de cerámica tipo olla	1	2	2	5	6	3	19
Filtro nerox	7	3	7	6	2	4	29
Filtro max power	2	10	4	1	1	1	19
Purificador watly	3	1	3	2	3	9	21
Purificador genesse	4	7	6	3	4	2	26

Fuente: autor

De acuerdo con su injerencia sobre cada criterio, las tecnologías se calificaron así: opción A, correspondiente al filtro sawyer, fue la tecnología con mayor puntuación, con un 43,30%; seguido de la opción D

correspondiente al filtro de bioarena con un 23,87%; luego la opción C correspondiente al filtro sifón con un 18,60%; y finalmente la opción B correspondiente al filtro lifestraw family con un 14,87% (Figura 1).



Figura 1. Selección de tecnologías no convencionales para abastecimiento de agua segura: opción A. filtro sawyer, opción B. filtro lifestraw family, opción C. filtro sifón y opción D. filtro de bioarena.

Fuente: autor.

El filtro sawyer fue escogido como la tecnología más adecuada para atender las necesidades que presenta la zona alta del corregimiento de San Fernando. Dicha tecnología prevaleció con un mayor puntaje en los criterios técnico, social y ambiental. Puesto que el filtro presenta mayores beneficios en comparación con las demás alternativas.

Técnicamente el filtro tiene una mayor tasa de filtración con 180 L/h respecto a 10 L/h del filtro LifeStraw Family, 40 L/h del filtro de bioarena y 20 L/h del filtro sifón (CAWST, 2011) y ambientalmente no genera residuos al no requerir repuestos. Cabe resaltar que el filtro Sawyer por su forma y diseño tiene una mayor adaptabilidad de acogida por parte de la población, no necesita repuesto a excepción del recipiente de almacenamiento y su mantenimiento es un proceso de retrolavado sencillo (CAWST, 2011).

En el análisis beneficio/costo (B/C), el filtro sawyer posee la mayor relación B/C con un 13,67, y los valores mayores a 1 representan

más beneficios que egresos (Bejarano & Cisneros, 2013), de igual manera, su costo anual equivalente (CAE) es el menor, con COP 331.383, lo que representa un menor costo en su adquisición, operación y mantenimiento a lo largo de su vida útil. Se tuvieron en cuenta los valores de costo, duración y mantenimiento que especifica el proveedor.

Transferencia social de la tecnología por parte de la comunidad: para generar una transferencia social de la tecnología en el contexto de la vereda Alto San Fernando, la implementación de la transferencia participativa para la higiene y el saneamiento - PHAST (Tabla 4) (ver Archivo suplementario 1) integró la identificación de aspectos ambientales, sociales, institucionales e instrumentos de comunicación. Según Narváez y Martínez (2017), la metodología PHAST brinda una flexibilidad en la ejecución de las actividades y en la selección de herramientas por emplear, las cuales deben adaptarse al contexto socioambiental en el cual se aplica la metodología (anexo 1).

Tabla 4. Pasos para la transferencia participativa para la higiene y el saneamiento.

Paso	Actividad	Herramienta	Resultado
1. Identificación del problema	1. Historias de la comunidad sobre problemas de salud en la comunidad	1. Narración de anécdotas	100% de la comunidad comentó sus experiencias respecto a la problemática sanitaria en su región.
2. Análisis del problema	1. Buenos y malos hábitos de higiene 2. Prácticas de la comunidad 3. Cómo se propagan las enfermedades	1. Calificación en tres grados 2. Votación con tarjetas 3. Rutas de transmisión	100% de la comunidad reconoció los malos hábitos de higiene y cómo se propagan las enfermedades
3. Planificación de soluciones	1. Cómo detener la propagación de enfermedades 2. Selección de las barreras 3. Tareas de hombres y mujeres en la comunidad	1. Bloqueo de las rutas 2. Gráfico de las barreras 3. Análisis de género	El 93% de la comunidad comprendió como evitar la propagación de enfermedades.
4. Selección de opciones	1. Elección de las mejoras de saneamiento 2. Elección de mejores hábitos de higiene 3. tiempo dedicado a preguntas	1. Opciones de saneamiento 2. Calificación en tres grados 3. Lluvia de preguntas	El 100% de la comunidad comprendió los hábitos saludables que se deben implementar en los hogares
5. Planificación de nuevas instalaciones y cambios de comportamiento	1. Planificación para el cambio	1. Socialización de estrategias	El 93% de la comunidad planificó las estrategias para prevenir enfermedades.
6. Planificación del monitoreo y evaluación	1. Preparación para evaluar el progreso de la comunidad	1. Formato de monitoreo	100% de la comunidad aprobó el formato de monitoreo
7. Evaluación de la planificación	1. Evaluación del progreso	1. Ejecución del formato de monitoreo	El 86% de la comunidad fue evaluada.

Fuente: transferencia Participativa Para la Higiene y el Saneamiento (2012).

En el siguiente cuadro se presentan los indicadores construidos para el seguimiento de la transferencia social de la tecnología (Tabla 5).

Tabla 5. Indicadores para el seguimiento de la transferencia social de la tecnología.

Indicadores para realizar el seguimiento de la transferencia social de la tecnología		
Objetivos para medir la transferencia social	Indicador	Criterio
Mejorar los niveles de conocimientos	Presencia de pre-tratamiento doméstico al sistema de filtración.	Cuenta con pre-tratamiento (si/no)
	Ubicación adecuada del filtro	Ubicación adecuada (si/no)
	Talleres de formación	Asistencia a talleres (No. Personas)
Aplicar procesos de operación y mantenimiento	Uso adecuado del filtro	En uso (si/no)
		Limpio (si/no)
	Herramientas de limpieza del filtro	Tenencia de herramientas de limpieza (si/no)
Mejorar la calidad de agua	Frecuencia de lavado y limpieza del filtro	Cantidad de veces lavado/semana
	Turbidez	NTU
	Coliformes fecales	NMP/100 ml
	Coliformes totales	NMP/100 ml

Fuente: Narváez y Martínez (2017)

Evaluación de eficiencia: respecto a los resultados obtenidos por Laboratorios del Valle, acreditados por la NTC ISO 5667, se determinó la eficiencia de los filtros Sawyer. En el primer muestreo (Tabla 6), el 99% de los filtros en el parámetro de turbidez está dentro de lo establecido por la normativa colombiana y el 86% de los filtros está dentro de lo establecido en

coliformes totales y fecales. El 14% de los filtros que no cumplen estos requisitos, fueron utilizados anteriormente en las capacitaciones con la comunidad en temas de uso del filtro, según el CAWST (2011) la inadecuada manipulación de las tecnologías puede repercutir en la eficiencia de remoción de agentes patógenos que pudo ser el caso de dicha eficiencia.

Tabla 6. Resultados del análisis uno de laboratorio.

N°	Muestreo 1		
	Turbidez (NTU)	Coliformes totales (NMP/100ml)	Escherichia. coli (NMP/100ml)
1	0,45	0	0
2	0,27	0	0
3	0,27	0	0
4	0,19	0	0
5	0,27	0	0
6	0,24	3	0
7	0,43	20	14
8	0,32	15	4
9	0,35	0	0
10	0,27	0	0
11	0,35	0	0
12	2,66	0	0
13	0,2	0	0

Fuente: autor

Por otra parte, el seguimiento realizado al uso, operación y mantenimiento de la tecnología (Figura 2) arrojó que el 100% de las familias no tienen pre-tratamiento doméstico, el 78,5% almacena

adecuadamente el agua tratada, el 93% tiene ubicado el sistema en un sitio adecuado, todos los sistemas de tratamiento funcionan correctamente y el 100% asistió a talleres de formación.

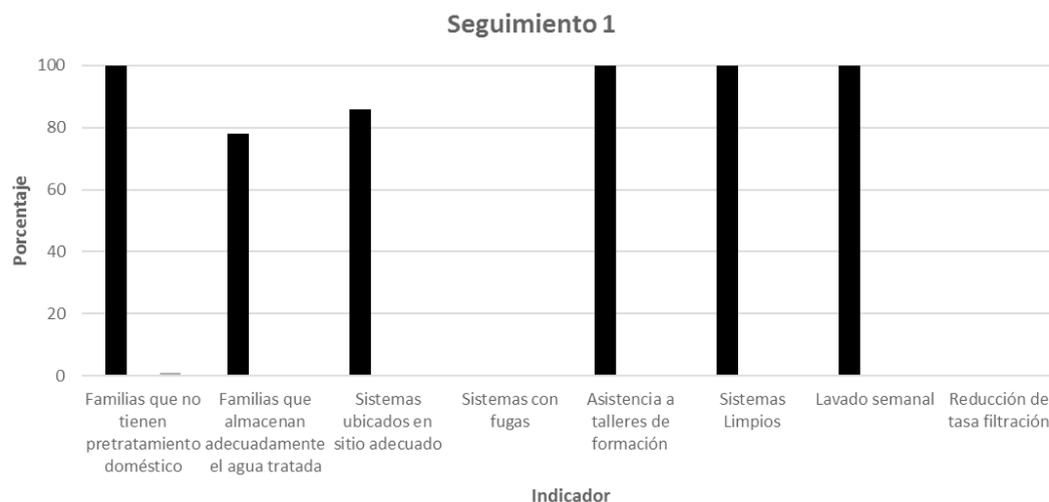


Figura 2. Seguimiento uno de la tecnología.

Fuente: autor.

En el segundo muestreo (Tabla 7), el 100% de los filtros en el parámetro de turbidez están dentro de lo establecido por la norma; con respecto a los coliformes totales, el 62% está dentro de lo estipulado en la norma; y el 77% cumple con lo estipulado en la norma con respecto

a coliformes fecales. Se presenta una disminución de la eficiencia de la tecnología, por lo que fue necesario consolidar una nueva reunión con la comunidad en la que se reforzaron temas del uso y mantenimiento del filtro, además de temas de salubridad e higiene en los hogares.

Tabla 7. Resultados del análisis dos de laboratorio.

N°	Muestreo 2		
	Turbidez (NTU)	Coliformes totales (NMP/100ml)	Escherichia. coli (NMP/100ml)
1	0,1	0	0
2	0,15	0	0
3	0,09	0	0
4	0,1	0	0
5	0,1	0	0
6	0,43	3,6	0
7	0,1	93	3
8	0,2	240	43
9	0,16	0	0
10	0,24	0	0
11	0,22	0	0
12	0,21	210	43
13	0,14	23	0

Fuente: Autor

Como resultado del seguimiento de la tecnología en el segundo muestreo (Figura 3) se evidenció que el 100% de las familias no tienen pretratamiento doméstico; el 93% almacena adecuadamente el agua tratada; el 93%

tiene ubicado el sistema en un sitio adecuado; el 7,1% de los hogares tiene fugas con reducción de tasa de filtración; y el 92,86% asistió a talleres de formación.

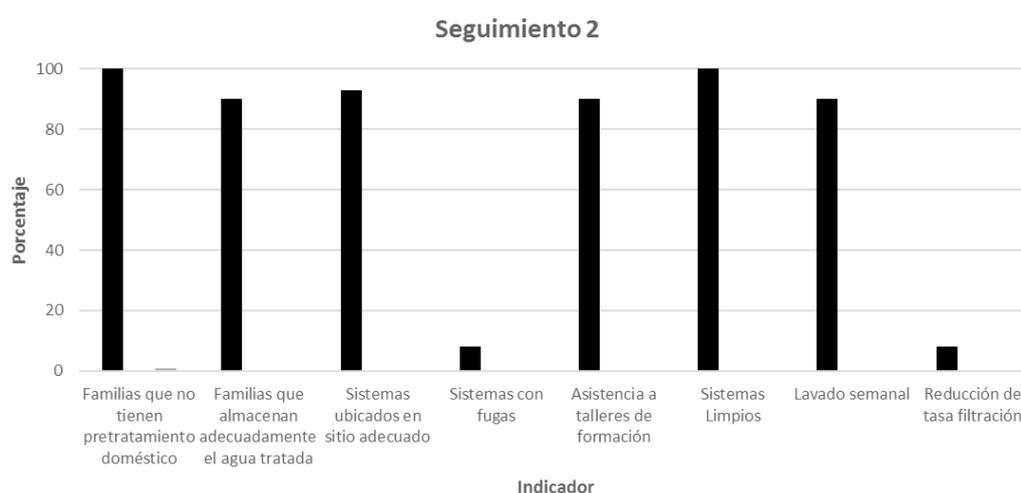


Figura 3. Seguimiento dos de la tecnología. Fuente: autor.

Mediante este seguimiento se determinó un aumento en los coliformes totales y fecales al igual que el porcentaje de la tasa de reducción de filtración, lo que evidencia un inadecuado mantenimiento de la tecnología y genera la disminución de la eficiencia del filtro. Por lo que fue necesario el realizar una capacitación refuerzo en temas de manipulación del filtro.

El tercer y último muestreo (Tabla 8) determinó que el 100% de los filtros están dentro de lo establecido por la norma en los parámetros de turbidez, coliformes totales y fecales. La OMS (2012) establece que el agua de consumo humano debe estar dentro de lo estipulado por la normativa de cada estado para ser considerada como apta y lograr bienestar en las comunidades.

Tabla 8. Resultados del análisis tres de laboratorio.

N°	Muestreo 3		
	Turbidez (NTU)	Coliformes totales (NMP/100ml)	Escherichia. coli (NMP/100ml)
1	0,2	0	0
2	0,14	0	0
3	0,08	0	0
4	0,1	0	0
5	0,1	0	0
6	0,22	0	0
7	0,3	0	0
8	0,1	0	0
9	0,1	0	0
10	0,12	0	0
11	0,21	0	0
12	0,1	0	0
13	0,1	0	0

Fuente: autor

Finalmente, el último seguimiento (Figura 4) determinó que el 93% de las familias almacenó adecuadamente el agua tratada; el 100% ubicó adecuadamente el sistema; el 93% asistió al último taller; y el 100% de los filtros funcionaron de manera adecuada. Todo ello,

soportado por las estrategias de uso, manejo y capacitación que de desarrollo paralelamente al proceso de adopción. Con base en esto, se puede afirmar que un proceso planificado entre el facilitador y la comunidad, conllevan a procesos exitosos comunitarios.

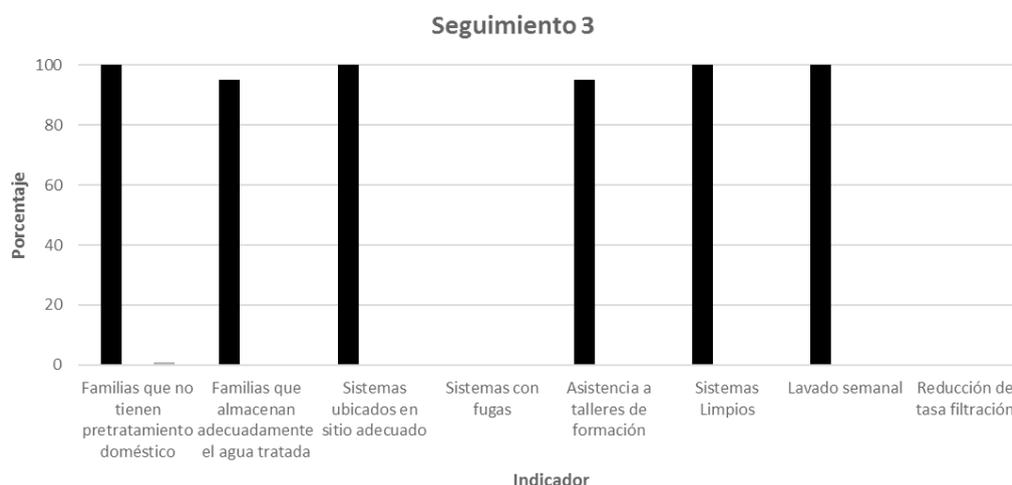


Figura 4. Seguimiento tres de la tecnología.

Fuente: autor

4. CONCLUSIONES

La calidad del agua de las dos quebradas que abastecen la planta de tratamiento no presenta ningún tipo de alteración en sus características físicoquímicas y establece un nivel muy bajo de alteración en sus características microbiológicas; sin embargo, la red de acueducto presenta un nivel alto en la alteración microbiológica y físicoquímica debido a la colmatación de la tubería que afecta el agua ya tratada.

Las tecnologías de tratamiento no convencional que venían prefabricadas tuvieron mayor aceptación por los expertos que las tecnologías que requerían algún proceso de construcción, argumentando la necesidad de optimizar el tiempo o el riesgo al fracaso por un procedimiento inadecuado que puede ocurrir sin una adecuada orientación; sin embargo, enfatizaron la idea del beneficio de apropiación que tendría el construir el filtro de bioarena con ayuda de la comunidad.

El filtro sawyer tiene una eficiencia del 99% en la remoción de turbidez, coliformes totales y fecales, si se presenta una adecuada manipulación por parte de las familias, de ahí la importancia de recalcar el constante retro-lavado y la higiene a la hora de hacer uso de la tecnología.

El éxito de las tecnologías no convencionales está ligado a la transferencia social que se aplique a lo largo de su implementación, puesto que la apropiación que la comunidad le dé al sistema es vital para su sostenibilidad en el tiempo.

Se recomienda realizar un seguimiento periódico por parte de los líderes comunitarios a lo largo de la vida útil de la tecnología para conocer el comportamiento de la eficiencia en la remoción de agentes patógenos.

CONTRIBUCIÓN A LA AUTORÍA

Autor: Álvaro Javier Ceballos Freire, Docente HC de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño, Pasto, Colombia: Formulación y desarrollo de todo el proceso investigativo y de elaboración del artículo científico, análisis de los resultados y acompañamiento en los procesos sociales, con el apoyo de estudiantes de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Nariño.

AGRADECIMIENTOS

Un sincero agradecimiento a la comunidad del corregimiento de San Fernando, municipio de Pasto, Nariño, Colombia, por su responsabilidad al proceso y apoyo. De igual forma, a la Universidad de Nariño a través de la Vicerrectoría de Investigaciones, Postgrados y Relaciones Internacionales (VIPRI), la cual financió el proyecto. A los estudiantes de Ingeniería Ambiental Félix David Rivera Madroño y Andrés Felipe Zambrano Jácome, por su dedicación y profesionalismo en cada una de las actividades desarrolladas en el proyecto.

LITERATURA CITADA

Alcaldía municipal de Pasto. (2016-2019). Plan de desarrollo municipal "Pasto educado constructor de paz".

Alleyne, G., y Cohen, D. (2003). Salud, crecimiento económico y reducción de la pobreza. pp. World Health Organization, Geneva. pp. 54-56.

Bejarano, S. y Cisneros, K. (2013). Evaluación financiera de proyectos de cooperación técnica destinados a la generación de ingresos sostenibles. Recuperada de <https://repository.cesa.edu.co/bitstream/handle/10726/1193/TMF00304.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Carvajal, I. (2012). Mapa de riesgo de la calidad de agua para consumo humano de la vereda La Trinidad y la vereda Tocogua - municipio de Duitama. Boyacá. Recuperada de <https://bit.ly/3efyeKUCentre>

Center for affordable water and sanitation technology - CAWST. (2011). Características filtro Sawyer. Primera edición. Canadá. p. 14.

Centro de Estudios en Planificación, Políticas Públicas e Investigación Ambiental - CEPPIA. (2011). Manual de introducción a la gestión ambiental municipal. Recuperada de <https://bit.ly/3edjVX6>

Espinosa, A. (2014). Impactos antrópicos en la calidad del agua. Periódico digital de divulgación de la Red del Agua. México: Instituto de Ecología, UNAM. <http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/impluvium/numero03.pdf>

Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 147-170.

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia - UNICEF (2005). *El agua potable y el saneamiento básico en los planes de desarrollo*. Colombia: Unicef. p. 26.

Fundación por la Social-democracia de las Américas - FUSDA. (2008). Medio ambiente y desarrollo: hacia un manejo sustentable del agua. El agua, Recurso Natural y Elemento de Desarrollo. México. p.22.

Grisales, D. (2009). Sistemas no convencionales de tratamiento de agua superficiales para comunidades de desplazados en estado de emergencia (CASO VILLA-CLARÍN). Recuperada de <https://bit.ly/2Aong0q>

Instituto Departamental De Salud De Nariño. (2016). Plan de salud territorial- salud para el buen vivir. Diagnóstico de la Situación de Salud. Nariño. Recuperada de <https://www.minsalud.gov.co/plandecenal/Paginas/mapa/Analisis-de-Situacion-Salud-Narino.pdf>

Junta de Acueducto Local. (2017). Actualización del censo sanitario del Corregimiento San Fernando. Nariño. Colombia: Junta de Acueducto Local. p. 10.

Lagares, P & Puerto, J. (2001). Población y muestra. Técnicas de muestreos. España: Management Mathematics for European Schools, Universidad de Sevilla. pp. 4-11.

León-Agatón, L., Mejía-Gutiérrez, L. F., & Montes-Ramírez, L. M. (2015). Caracterización socioeconómica y tecnológica de la producción del plátano en el bajo occidente del departamento de Caldas. *Revista Luna Azul*, 41, 184-200. <http://dx.doi.org/10.17151/luaz.2015.41.11>

Leonel H. Narváez N., y Morales D. (2016). Informe de Evaluación de dos sistemas no convencionales para mejorar la calidad de agua de consumo humano en el resguardo indígena Alto Cartagena, adscrito a Camawari, Ricaurte. Colombia: Universidad de Nariño.

- Mazorra J., y González M., (2012). Análisis multicriterio para la selección de la tecnología idónea de tratamiento de aguas residuales en la comunidad de Falía, Delta del Saloum, Senegal. Recuperada de <http://www.ocud.es/es/files/doc720/1javiermazorraaguilar.pdf>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Resolución 4716 de 2010. Establecimiento de las condiciones, recursos y obligaciones mínimas que deben cumplir las autoridades sanitarias departamental, distrital y municipal. República de Colombia. Recuperada de https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MPS-MA-VDT_4716_2010.pdf
- Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007) Resolución 2115. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. República de Colombia. Recuperada de <https://bit.ly/2Ncjt2>
- Ministerio de la Protección Social. (2007). Decreto 1575. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. República de Colombia. Recuperada de <http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>
- Moreno, J. (2012). Proceso analítico jerárquico (AHP). Fundamentos, metodología y aplicaciones. Recuperada de <https://bit.ly/2YbWibO>
- Murtagh, S. (2009). Enseñanza y aprendizaje en los programas de desarrollo rural. Algunas consideraciones sobre el conocimiento campesino y el rol de los técnicos extensionistas. Recuperada de <https://www.academica.org/000-020/52.pdf>
- Naciones Unidas Para Los Derechos Humanos - NUDH. (2011). El derecho al agua. New York: Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos. p. 64.
- Narváez, N., y Martínez, J. (2017). Apropiación social de una tecnología no convencional para el tratamiento del agua en la vivienda, Vereda El Motilón, Pasto, Nariño. Recuperada de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/7923/628161M385.pdf?sequence=1>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC. (2004). Norma Técnica Colombiana ISO-5667-3. Calidad del agua. Muestreo parte 3: Directrices para la preservación y manejo de muestras. Recuperada de <https://bit.ly/2UZm80L>
- Organización de las Naciones Unidas - ONU. (2014). Calidad del agua. Agua fuente de vida. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas.
- Organización Mundial de la Salud - OMS. (2004). Guías para la calidad del agua potable. Tercera edición. Ginebra, Suiza: Organización Mundial de la Salud. p. 408.
- Organización Mundial de la Salud - OMS. (2012). Evaluación de métodos para el tratamiento domésticos de agua: Metas sanitarias y especificaciones de eficiencia microbiológica. Ginebra, Suiza: OMS. p. 78.
- Transferencia participativa para la higiene y el saneamiento - PHAST (2012). Guía para la Higiene y el Saneamiento. Organización Mundial de la Salud. (2012). Ginebra.
- Patiño, B., Salazar H., y Rodríguez T. (2015). Proyecto Análisis de las implicaciones sociales y económicas de las Autopistas para la Prosperidad en el departamento de Antioquia. Medellín: Gobernación de Antioquia. pp. 72-78.
- Alcaldía de Pasto. (2014). Plan de Ordenamiento Territorial de Pasto Territorio Con Sentido. (2014 – 2027). Clasificación del suelo urbano, rural, suburbano, de expansión y de protección. Colombia.
- Pontificio Consejo de Justicia y Paz. (2012). El agua, un elemento esencial para la vida, Adoptar soluciones eficaces. Recuperada de <http://troballes.org/wp-content/uploads/Agua-un-elemento-esencial-para-la-vida.pdf>
- Sánchez, D. (2016). Calidad del agua en ríos. Escuela de Ingenieros de Caminos y Puertos de Ciudad Real. Universidad de Castilla.
- Subsecretaría de Planeación y Calidad de Pasto. (2018). Índices de morbilidad. Corregimiento de San Fernando. Nariño. Colombia.
- Trejos, J. (2007). Selección de beneficiarios para programas sociales. Costa Rica: Instituto de Investigación en Ciencias Económicas. Universidad de Costa Rica. p. 52.

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.

VULNERABILIDAD DE FUENTES HÍDRICAS SUPERFICIALES DE LA CUENCA DEL RÍO CERRITO A LA CONTAMINACIÓN DIFUSA AGRÍCOLA

VULNERABILITY OF SURFACE WATER SOURCES OF THE CERRITO RIVER BASIN TO THE AGRICULTURAL DIFFUSE POLLUTION

¹Andrés Echeverri Sánchez ²Norberto Urrutia Cobo
³Sandra Milena Barona Ramírez

^{1,2} PhD. Universidad del Valle. Cali, Colombia.

³ Est. Maestría. Universidad del Valle. Cali, Colombia.

¹andres.echeverri@correounivalle.edu.co; ²norberto.urrutia@correounivalle.edu.co;

³barona.sandra@correounivalle.edu.co

RESUMEN

Contextualización: la actividad agrícola tradicional incluye la aplicación de productos químicos para nutrición vegetal, control de plagas, malezas y enfermedades. Una vez aplicados, estos productos se transportan hasta los cuerpos hídricos de manera difusa. Al mismo tiempo, las fuentes hídricas superficiales se aprovechan para consumo humano, agrícola, industrial y recreativo, entre otros, y son el soporte de los ecosistemas acuáticos.

Vacío de conocimiento: existen métodos paramétricos para valorar la vulnerabilidad de las fuentes subterráneas, pero son escasas para las fuentes hídricas superficiales.

Propósito del estudio: el objetivo fue aplicar una propuesta metodológica para valorar las categorías de vulnerabilidad de las fuentes hídricas superficiales de la Cuenca del Río

Cerrito a la contaminación difusa de origen agrícola, como instrumento de apoyo a la planificación de acciones de prevención, mitigación y recuperación.

Metodología: en ese sentido, se propone una metodología basada en una técnica de Análisis Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica para identificar y espacializar la vulnerabilidad de las fuentes hídricas superficiales de las cuencas tributarias al Río Cauca, en jurisdicción del Departamento del Valle. Este modelo se aplicó a la cuenca del Río Cerrito (Colombia), la cual presenta diversidad de coberturas, pendientes mayores al 12% en su parte alta y agricultura tecnificada en su parte baja.

Resultados y conclusiones: el resultado obtenido fue una superficie *raster* con valores del Índice de vulnerabilidad de las fuentes hídricas

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.3136>

superficiales a la Contaminación Difusa de origen Agroquímico (IVCDA). Esta valoración indicó que la mayor parte de la cuenca (75,3%) presenta vulnerabilidad Media y está asociada principalmente a cultivos de caña de azúcar en zona plana y a pasturas en zona de ladera. Se obtuvieron pequeños focos con vulnerabilidad Alta (0,6%) asociada a cultivos como hortalizas, cítricos y vid. Las zonas boscosas y herbazales se calificaron con vulnerabilidad Baja a Muy baja. La distribución espacial del IVCDA permitió concluir que los principales factores de vulnerabilidad en zona de ladera son la pendiente y la erosión y en zona plana las inadecuadas prácticas agrícolas. En términos de coberturas, se concluyó que las que generan mayor nivel de vulnerabilidad son vid, cítricos y hortalizas.

Palabras clave: análisis multicriterio; contaminación difusa; índice de vulnerabilidad; SIG

ABSTRACT

Contextualization: The traditional agricultural practices include the application of agrochemical products to fertilize and control pests, weeds, and diseases. After the application, those products are transported through diffusion phenomena to water bodies. At the same time, surface water bodies are used as a source of water in human consumption, agriculture, industrial and recreational activities, among others, and are the support of aquatic ecosystems.

Knowledge gap: Although there are several available parametric methods to value the vulnerability of groundwater, methods to surface water bodies are scarce.

Purpose: The main aim was to apply a methodological proposal to value the vulnerability categories of surface water bodies to the diffuse contamination triggered by agricultural

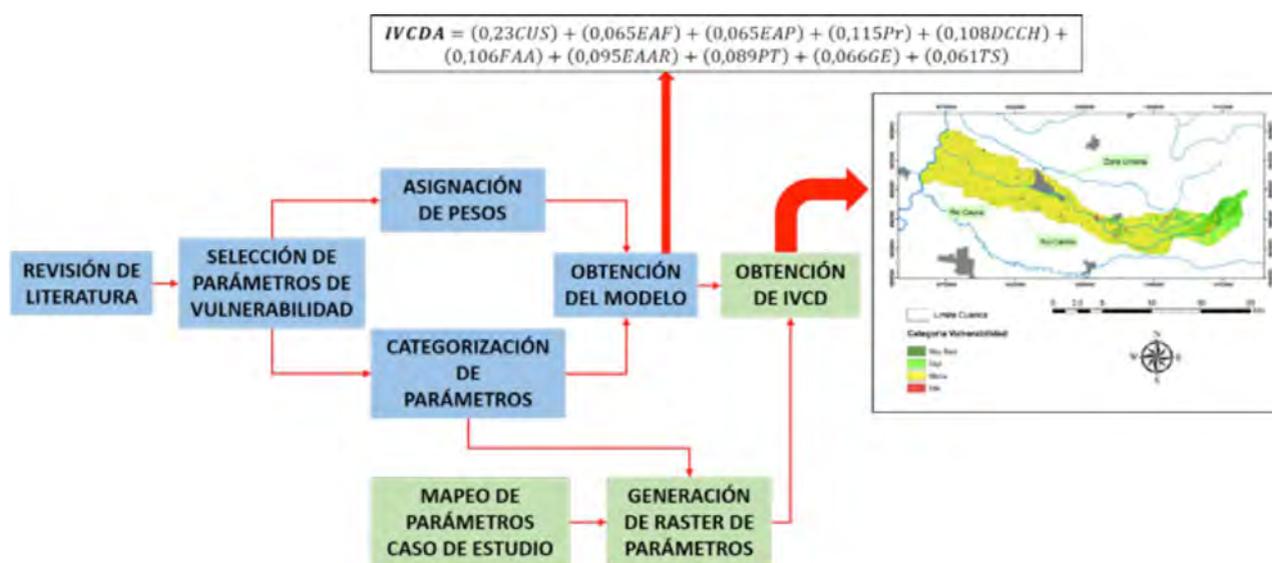
activities in the Cerrito river watershed (Colombia), as an instrument to support the planning of prevention, mitigation and recovering actions.

Material and methods: A methodology based on a multicriteria analysis and geographic information system techniques to identify and to map the vulnerability of surface water bodies in tributary watersheds of Cauca river in Valle del Cauca Department (Colombia) was proposed. This framework was applied to Cerrito river watershed, which showed several land covers, slopes greater than 12% in its upper part and technified agriculture in its lower part.

Results and discussion: The outcome was a raster map of vulnerability index values of surface water bodies to diffuse contamination triggered by agrochemicals (IVCDA, for its original in Spanish). This estimation indicated that a high percentage of watershed area (75.3%) presented a medium vulnerability, mainly associated to sugarcane crops in its floodplain zone and associate to grasslands in its hillslope zone. Moreover, it was obtained small and dispersed areas of high vulnerability (0.6%), associated to vegetable, citric and grape crops. Forest zones and remaining grasslands were categorized with low and very low vulnerability. The spatial distribution of IVCDA permitted to conclude that the main factors causing vulnerability in hillslope zone of Cerrito river watershed were slope and erosion, while at the floodplain zone it was the inadequate agricultural practices. In terms of land cover, it was concluded that vineyard, vegetable and citric crops promoted a major vulnerability level in the watershed.

Keywords: Multicriteria analysis; diffuse contamination; vulnerability index; geographic information system

RESUMEN GRÁFICO



1. INTRODUCCIÓN

Es ampliamente conocido que la agricultura es la base de la alimentación mundial (FAO, 2018). De la misma manera, se conoce que esta actividad productiva impacta de múltiples maneras y en distintos niveles a los recursos naturales (Goudie, 2013). Los principales impactos asociados a la actividad agrícola son: degradación de suelos; afectación de ecosistemas terrestres y acuáticos; contaminación de aguas superficiales y subterráneas: presión sobre la oferta hídrica natural; y, en algunos casos, disminución de la calidad del aire (Shiferaw, et al, 2005).

El caso específico de la contaminación de aguas superficiales y subterráneas se asocia a la aplicación de agroquímicos en el proceso productivo, tales como fertilizantes y pesticidas, que son transportados por diferentes mecanismos hasta los cuerpos hídricos. En general, la contaminación difusa se refiere a los contaminantes que afectan los cuerpos hídricos (superficiales y subterráneos) y que provienen de fuentes no puntuales bien sea de origen urbano o rural (Ferrier et al. 2005). Cuando los contaminantes se originan en la actividad

agrícola, se denomina “contaminación difusa por agroquímicos” (Custodio, et al., 2012).

En la carta mundial de los suelos (FAO, 2015), se identifica la necesidad de cuidar este recurso y su capacidad productiva e insta a la comunidad científica a desarrollar herramientas de gestión y planificación de la producción en un contexto de sostenibilidad. A nivel nacional, la Resolución No. 549 de marzo de 2017 (Ministerio de Protección Social and Ministerio de Vivienda, 2017) menciona que las actividades agrícolas generan amenazas por el aporte de sustancias como nitratos, fosfatos, sales de potasio y plaguicidas, que alteran la calidad del agua de manera difusa. en esta misma resolución se indica que la industria agrícola ha contribuido al deterioro del agua, estimándose que el 40% de los fertilizantes suministrados a los cultivos llegan a las fuentes hídricas.

La valoración de vulnerabilidad de fuentes subterráneas se basa principalmente en modelos paramétricos. Algunos métodos conocidos son GOD, DRASTIC, SINTACS y EPIK (MAVDT, 2010). En menor proporción se han

propuesto metodologías paramétricas para el caso de fuentes hídricas superficiales, que se localizan indistintamente en zonas planas y de ladera. Estas metodologías se basan en parámetros que tienen relación directa con los mecanismos de transporte de contaminantes desde las áreas productivas hasta los cuerpos hídricos, tales como la Cobertura y uso del suelo, pendiente del terreno, erosión, textura del suelo (Cardona, 2003), cobertura del suelo, pendiente del terreno y precipitación anual (Eimers, et al., 2000), porcentaje de área agrícola en la cuenca, riego, pendiente del terreno y textura del suelo (Cotler Lura, 2011), distancia de actividad agrícola a fuentes hídricas (Giupponi, et al., 1999), pendiente del terreno, tipo de suelo, distancia de origen de contaminantes a red hídrica (Macary, Morin, Probst, & Saudubray, 2014).

Cuando se dispone de información suficiente es posible realizar modelación de la contaminación difusa a través de software como ArcSwat (Arnold et al., 2012). La mayoría de los estudios están enfocados en la predicción de las concentraciones de contaminantes (especialmente nitratos) basados en modelos como SWAT o ArcSWAT que requieren un alto nivel de información de entrada (Grizzetti, et al., 2005); (Lam, et al., 2010); (Panagopoulos, et al., 2011); (Rocha et al., 2015); (Taylor, et al., 2016) and (Liu, et al., 2016)). Sin embargo, existen varias propuestas que, como en el caso anterior, se basan en la integración de técnicas de análisis multicriterio y sistemas de información geográfica (Malczewski & Rinner, 2015; Chandio et al., 2013).

En el suroccidente colombiano existe agricultura en zonas planas (valles interandinos) y en zonas de ladera. En el primer caso se ubica la agricultura tecnificada, como caña de azúcar y arroz; en el segundo, agricultura de menor escala productiva y de subsistencia. Dado que

las condiciones biofísicas, como suelos, pendiente, coberturas y erosión están asociadas al movimiento de los contaminantes, se tendrían diferentes niveles de vulnerabilidad a la contaminación difusa. Por esto, se requiere desarrollar herramientas metodológicas para identificar y valorar los niveles de vulnerabilidad de los cuerpos hídricos a la contaminación difusa de origen agrícola, como punto de partida para iniciar un proceso de gestión del riesgo que incluya, en su etapa inicial, la identificación del riesgo a través del conocimiento de sus componentes vulnerabilidad y amenaza (Narváez, et al. 2009; FAO, 2009; UNISDR, 2016).

La alta variabilidad espacial de características biofísicas en las cuencas del Valle del Cauca, sumadas a la escasez de información, suponen un reto en la generación de un modelo que permita priorizar áreas vulnerables. Sin embargo, la integración de herramientas multicriterio y los sistemas de información geográfica representan una oportunidad para avanzar en este sentido.

Dado este contexto, y en respuesta a la Ley 1523 de 2012 y a la Política Nacional para la Gestión Integral Ambiental del Suelo, el objetivo fue aplicar una propuesta metodológica para valorar los niveles de vulnerabilidad de las fuentes hídricas superficiales de la Cuenca del Río Cerrito a la contaminación difusa de origen agrícola, como caso representativo de las cuencas tributarias al Río Cauca en jurisdicción del Departamento del Valle del Cauca, Colombia.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción zona de estudio

La cuenca del Río Cerrito se localiza en el centro del Departamento del Valle del Cauca, tiene una extensión de 126,4 Km² y se ubica al oriente del Río Cauca (Figura 1). La cuenca se orienta en dirección Oriente-Occidente, su

parte alta y media se localiza sobre las estribaciones de la cordillera central de Colombia, y su parte baja hace parte del valle geográfico del Rio Cauca. Las alturas varían entre los 932 y 3909 m.s.n.m. Posteriormente se presentan las coberturas del suelo para el año 2016 (Figura 2; escala 1:25.000) levantadas por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC).

Se observa que la cobertura dominante es la caña de azúcar, localizada en la zona plana de la cuenca y en menor proporción en el piedemonte (56,89% del área total de la cuenca). En la zona plana también son importantes

coberturas como hortalizas, sorgo, maíz y arroz (3,7% del área). Coberturas como cítricos, vid y maracuyá tienen pequeños focos en la zona plana y en la parte media de la cuenca (1,6% del área total). Los pastos (naturales y cultivados) se localizan principalmente en la zona media de la cuenca, aunque se presenta un porcentaje importante en la zona alta (14,4% del área). El café con sombrero se presenta en la zona alta de la cuenca y representa solamente el 1,1% del área total. Las zonas con coberturas boscosas se localizan en la zona alta y media de la cuenca con indicios de baja conectividad (10,4% del área de la cuenca).

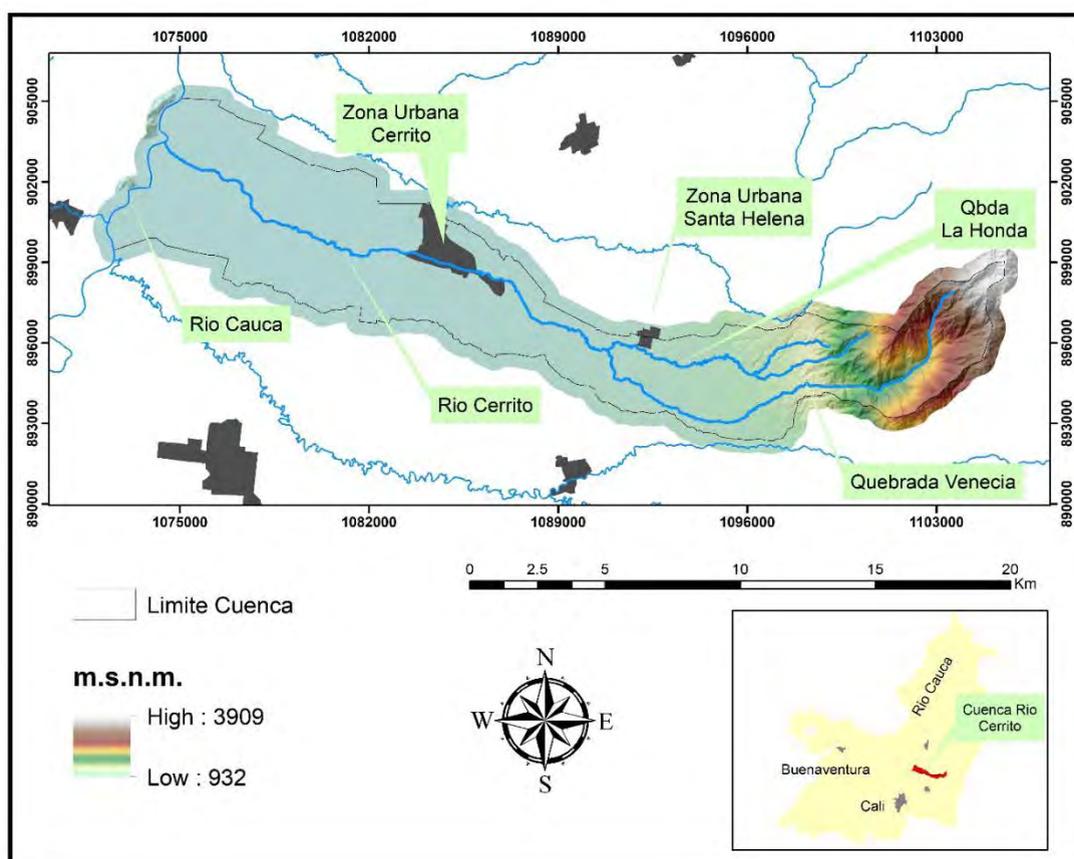


Figura 1. Localización Cuenca Cerrito (Sistema de proyección: Magna Colombia Oeste).

Fuente: autores.

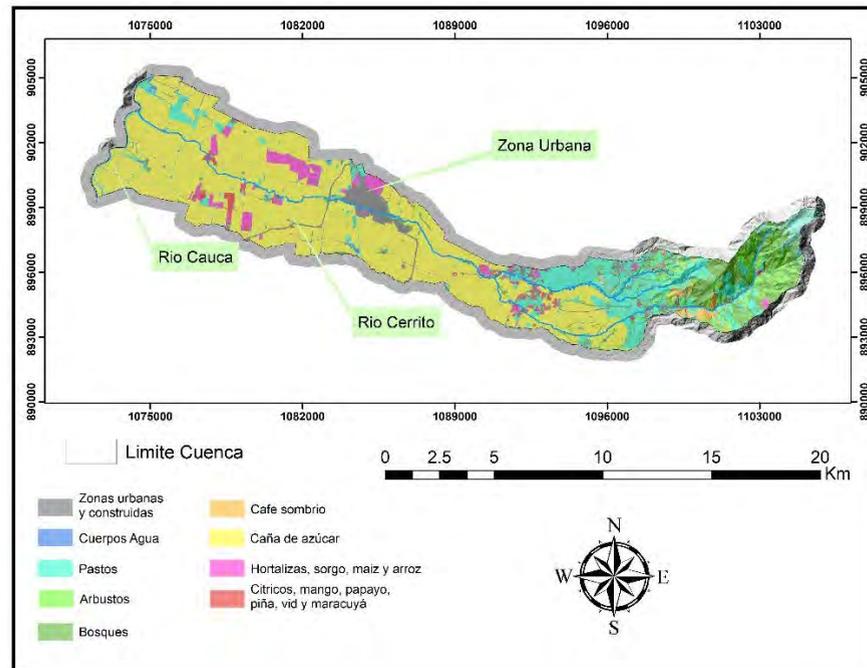


Figura 2. Cobertura del suelo en la Cuenca Cerrito.

Adaptado (CVC, 2018).

La red hídrica principal está compuesta por el Río Cerrito, que nace en la parte más alta de la cuenca y se orienta en dirección Oriente-Occidente hasta su desembocadura en el Río Cauca y las Quebradas La Honda y Venecia, que nacen en la parte media de la cuenca. La Quebrada Venecia tributa a la Quebrada La Honda, que a su vez tributa al Río Cerrito en proximidades del centro poblado Santa Helena.

Enfoque metodológico

El estudio se abordó mediante dos pilares metodológicos: Análisis Multicriterio, específicamente Análisis Jerárquico de Procesos (Saaty, 2008) en ambiente de Sistemas de Información Geográfica, y la Gestión del riesgo de desastres según la concepción de UNISDR (2016).

Construcción del índice

El proceso constó de cuatro fases metodológicas: i) la primera consistió en la conceptualización del fenómeno y la identificación de los parámetros de vulnerabilidad; ii) en la

segunda, se realizó una consulta de expertos para asignar pesos a cada parámetro de vulnerabilidad; iii) en la tercera, se categorizaron y normalizaron dichos parámetros (En el Anexo I se presentan las categorías y valores normalizados de cada parámetro). Los valores cercanos a 1 fueron asignados a las categorías que representan mayor vulnerabilidad; iv) y en la cuarta, se propuso el IVCDA para la zona de estudio. La construcción del índice se basó en el método denominado "Ponderación aditiva simple" (Abdullah & Adawiyah, 2014; Kaliszewski & D. Podkopaev, 2016) que considera un modelo de la forma:

$$IV = \sum_{j=1}^n W_j x P_j \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde,

IV: índice de vulnerabilidad (valores de 0 a 1)

W_j : peso o grado de importancia del factor j

P_j : valor normalizado del parámetro j

Una vez identificados los parámetros de vulnerabilidad y asignados los pesos o grados de importancia se obtuvo la expresión del IVCDA (Ecuación 2):

$$IVCDA = (0,23CUS) + (0,065EAF) + (0,065EAP) + (0,115Pr) + (0,108DCCH) + (0,106FAA) + (0,095EAAR) + (0,089PT) \text{ (Ecuación 2)}$$

Donde,

IVCDA: índice de vulnerabilidad de las fuentes hídricas superficiales a la contaminación difusa de origen agrícola.

CUS: valor normalizado Cobertura y uso del suelo

EAF: valor normalizado Eficiencia de aplicación de fertilizantes

EAP: valor normalizado Eficiencia de aplicación de pesticidas

Pr: valor normalizado Precipitación

DCCH: valor normalizado Distancia de los cultivos a los cuerpos hídricos

FAA: valor normalizado Fraccionamiento de aplicación de agroquímicos

EAAR: valor normalizado Eficiencia de la aplicación del agua de riego

PT: valor normalizado Pendiente del terreno

GE: valor normalizado Grado de erosión

TS: valor normalizado Textura del suelo

Espacialización de valores normalizados por parámetro

Todos los procesos de análisis espacial se llevaron a cabo en el software ArcGis 10.3. Se definió un tamaño de pixel de 100 m × 100 m (acorde a la escala de la mayor parte de la información) y se usó el Modelo Digital de la Cuenca como máscara para todos los procesos.

La cobertura y uso del suelo y el grado de erosión se obtuvieron del visor avanzado de CVC a escala 1:25.000 (CVC, 2018). Inicialmente, se realizó un proceso de disolución de

propiedades y posteriormente recodificación con los valores del Anexo I. Finalmente, estas capas vectoriales se convirtieron a formato raster con los valores normalizados.

En el caso de la eficiencia y fraccionamiento de aplicación de agroquímicos y de la eficiencia del método de aplicación de agua de riego, se llevó a cabo una caracterización de los productos utilizados en los principales cultivos de la cuenca y se realizaron entrevistas con agricultores de las líneas productivas más representativas de la zona de estudio.

El raster de precipitación anual se obtuvo a partir de 115 estaciones pluviométricas, pluviográficas y climáticas de IDEAM y CVC (IDEAM, 2018 y CVC, 2018) localizadas en la cuenca del Río Cauca (jurisdicción del Departamento del Valle). Se realizó un análisis exploratorio y se interpoló con un método determinístico (*Inverse Distance Weighting*) dada la no normalidad del conjunto de datos y el bajo ajuste de los modelos de semivariograma ($R^2 < 0.5$) (Oliver & Webster, 2014) generado en el software GS+ (Versión de prueba) (Robertson, 2008).

El análisis de distancia de las zonas cultivadas a la red hídrica principal se realizó mediante la aplicación de la herramienta *Euclidean Distance* del ArcGis 10.3. Finalmente, las herramientas *Reclassify* y *Lookup* permitieron generar los rangos y crear un raster con los valores normalizados (Fischer & Getis, 2010).

La pendiente del terreno se obtuvo mediante la aplicación de la herramienta *Slope* de ArcGis 10.3. sobre un modelo digital de elevación facilitado por CVC (2,5 m × 2,5 m); igual que en el caso anterior, las herramientas *Reclassify* y *Lookup* permitieron obtener los rangos y crear un raster con los valores de la Tabla 1.

La información de textura del suelo se obtuvo de acuerdo con la zona de la cuenca. Para la zona plana se consultó el estudio de suelos de (IGAC & CVC, 2004) y para la zona de ladera el estudio realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi y la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (IGAC & CVC, 2016).

Obtención del IVCDA

Una vez obtenidas todas las capas raster de los parámetros de vulnerabilidad, se procedió a aplicar la ecuación del IVCDA en la herramienta *Raster Calculator* del ArcGis 10.3; de esta manera se obtuvo un mapa raster de la cuenca del Río Cerrito con valores del IVCDA. Los resultados fueron reclasificados en rangos de valores iguales para obtener zonas homogéneas de vulnerabilidad. Los rangos usados fueron los siguientes: IVCDA entre 0,0 y 0,2 Muy Baja, IVCDA entre 0,2 y 0,4 Baja, IVCDA entre 0,4 y 0,6 Media, IVCDA entre 0,6 y 0,8 Alta y IVCDA entre 0,8 y 1,0 Muy Alta.

Análisis Estadístico

Se realizó una prueba de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) a los datos de precipitación anual (software IBM Corp. Released 2017. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0. Armonk, NY: IBM Corp.) con el objetivo de decidir el método de interpolación. Se llevó a cabo la validación de los resultados obtenidos en el proceso de interpolación de los datos de precipitación mediante validación cruzada en el software ArcGis 10.6. Adicionalmente, se calculó el indicador denominado Root Mean

Square (RMS) con la extensión Geostatistical Analyst del software ArcGis 10.3. Se calcularon los indicadores de estadística de tendencia central sobre la superficie raster del IVCDA obtenido al final del proceso.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La distribución espacial del IVCDA para la zona de estudio de manera continua en píxeles de 100 × 100 metros se presenta en la Figura 3, producto de la aplicación del modelo para el área de estudio (Ecuación 2). En la Figura 3 se puede apreciar que el máximo valor obtenido para el IVCDA en la zona de estudio es 0,69. Asimismo, es evidente que los mayores valores del IVCDA se localizan al lado y lado de los cauces desde la parte media hasta la parte plana de los cauces principales. Los valores intermedios se distribuyen principalmente en la zona plana, donde coinciden con coberturas como caña de azúcar, hortalizas, sorgo, maíz y arroz y con valores de pendientes planas, erosión ligera, aunque con prácticas ineficientes de aplicación de fertilizantes y pesticidas, así como con bajo fraccionamiento de estos.

Los valores más altos de IVCDA (0,55 a 0,6), presentes en zona de ladera, corresponden a coberturas de pastos en altas pendientes y grados de erosión moderada a severa. Los valores bajos del IVCDA se correlacionan espacialmente con las áreas boscosas y cultivos de café con sombrío y frutales de porte alto. En la Figura 4 se presentan las zonas homogéneas de vulnerabilidad, identificadas a partir de los valores del IVCDA.

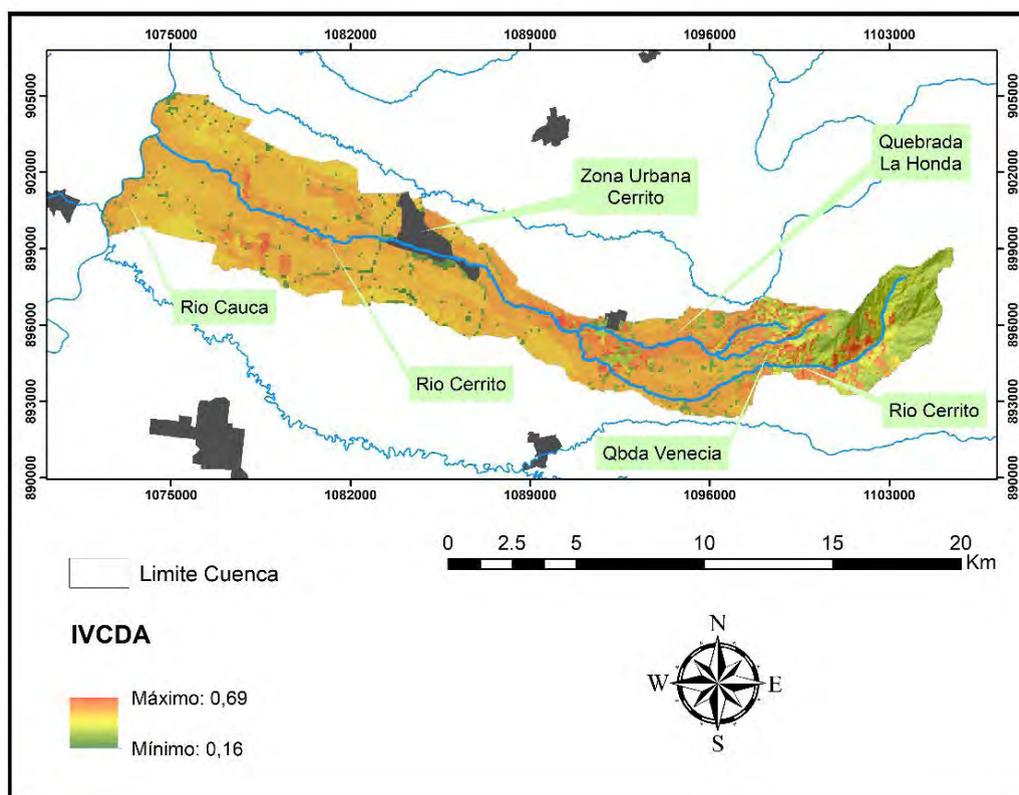


Figura 3. Valores del Índice de Vulnerabilidad a la Contaminación Difusa de origen Agrícola (IVCDA).

Fuente: Autores

La zona homogénea de mayor área obtenida fue la de Vulnerabilidad media (75,3% del área total), la zona con Vulnerabilidad baja representa el 21,5% del área de la cuenca. En Vulnerabilidad alta se obtuvieron pequeños focos que suman el 0,6% del área evaluada. En la categoría Muy Baja se obtuvieron zonas dispersas que representan el 2,57% del área. En la (Tabla 1) se presentan los porcentajes de área de cada categoría de vulnerabilidad por cobertura vegetal.

La zona correspondiente a Vulnerabilidad baja se ubica en las zonas altas (bosques, arbustos y herbazales) de la parte alta de la cuenca, guardando coherencia con el uso del suelo. Estas zonas, a pesar de tener pendientes medianas a altas, presentan valores bajos del IVCDA por ser coberturas que no propician el escurrimiento, bajo o nulo nivel de intervención antrópica y bajo grado de erosión.

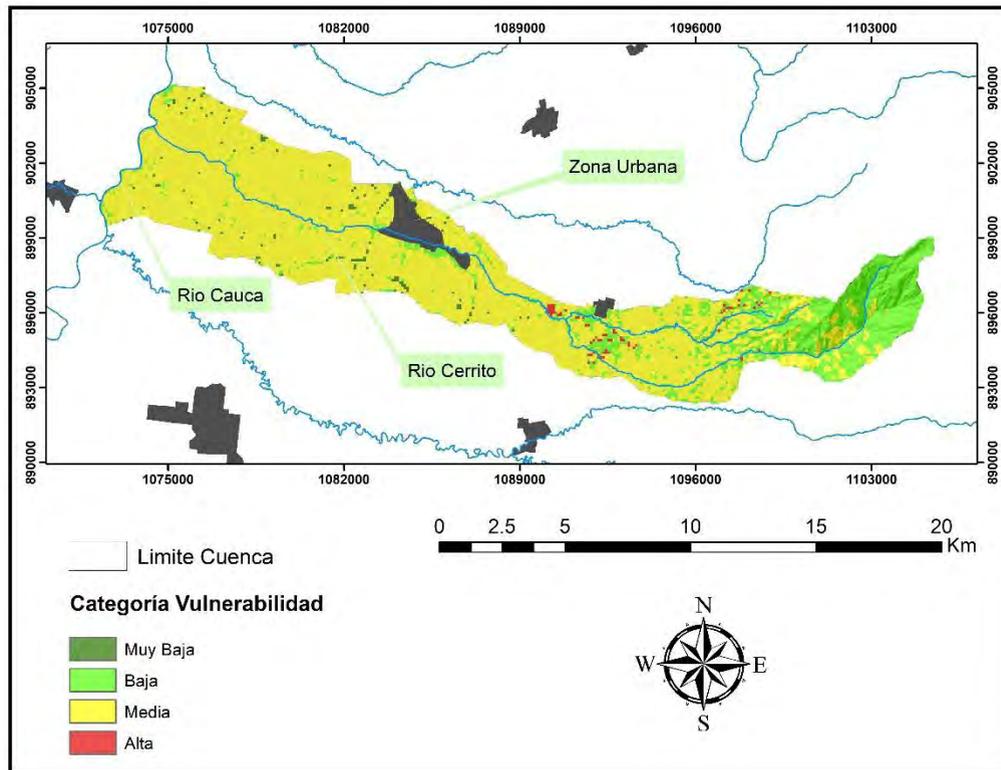


Figura 4. Zonas homogéneas de vulnerabilidad.

Fuente: autores.

Tabla 1. Áreas por nivel de vulnerabilidad para coberturas representativas.

Cobertura	% Área por categoría de vulnerabilidad				Área cobertura (m ²)	% área Cuenca
	Alta	Media	Baja	Muy baja		
Caña de azúcar	0,06%	96,88%	2,27%	0,79%	71923000	56,89%
Pastos	0,53%	76,41%	22,09%	0,98%	18183000	14,38%
Bosques	0,26%	16,05%	83,41%	0,28%	13173000	10,42%
Arbustos	0,48%	18,54%	80,70%	0,28%	6074000	4,80%
Maíz	3,68%	90,66%	3,62%	2,04%	2158000	1,71%
Herbazal	0,00%	0,77%	99,23%	0,00%	1873000	1,48%
Hortalizas	7,16%	79,74%	10,42%	2,67%	1748000	1,38%
Café sombrío	0,00%	81,20%	18,80%	0,00%	1375000	1,09%
Cítricos	13,27%	52,32%	31,98%	2,43%	1329000	1,05%
Sorgo	0,00%	98,56%	0,19%	1,25%	600000	0,47%
Piña	0,00%	99,65%	0,35%	0,00%	330000	0,26%
Vid	50,54%	16,78%	32,68%	0,00%	261000	0,21%
Arroz	0,00%	96,21%	2,00%	1,79%	150000	0,12%

Fuente: autores

Las zonas con Vulnerabilidad media de la zona plana corresponden principalmente a zonas cultivadas con caña de azúcar, piña, sorgo, maíz y arroz, que se localizan sobre zonas sin erosión; pluviosidad entre 1200 a 1500 mm/año, aunque a distancias menores de 500 metros de los cuerpos hídricos; baja eficiencia de aplicación de agroquímicos; y bajo nivel de fraccionamiento de aplicación de estos productos.

Las zonas con Vulnerabilidad media en zona de ladera coinciden espacialmente con cultivos de café y pasturas asociadas a ganadería extensiva. El primer caso se correlaciona con medianas eficiencias de aplicación de agroquímicos, zonas sin erosión o erosión ligera, pendientes moderadas a escarpadas y distancias a cuerpos hídricos menores a 500 m. El segundo caso coincide con áreas que presentan erosión moderada a severa, pendientes mayores al 12% y distancias a cuerpos hídricos superficiales menores a 500 m.

Las zonas con Vulnerabilidad alta coinciden espacialmente con cultivos de hortalizas, principalmente como tomate, cítricos y vid. Los parámetros determinantes de la vulnerabilidad en estas zonas son: baja eficiencia de aplicación de pesticidas y/o fertilizantes y la alta pluviosidad anual (entre 1500 y 2500 mm/año) y escasa distancia a cuerpos hídricos (menor a 500 metros). Estas zonas fueron categorizadas como de Vulnerabilidad alta a pesar de estar localizadas en relieves planos y presentar grados de erosión ligera.

4. CONCLUSIONES

La distribución espacial del IVCDA permite concluir que los principales factores de vulnerabilidad en zona de ladera son la pendiente y la erosión y, en zona plana, prácticas agrícolas inadecuadas.

Los cultivos con métodos de riego de baja eficiencia, baja eficiencia en la aplicación de insumos agrícolas, y localizados a menos de 500 metros de las fuentes hídricas superficiales, generan vulnerabilidad Media a Alta de las fuentes hídricas superficiales a la contaminación difusa, a pesar de no presentarse erosión y localizarse en pendientes menores al 7%.

Las coberturas que generan mayores porcentajes de área con Vulnerabilidad alta son las asociadas a predios medianos y pequeños, es decir, vid, cítricos y hortalizas. Los parámetros de vulnerabilidad importantes en estos cultivos son la baja eficiencia de aplicación de fertilizantes y pesticidas, así como el bajo fraccionamiento de estos y la poca distancia a las fuentes hídricas superficiales.

El mayor porcentaje de área en Vulnerabilidad media lo genera el cultivo caña de azúcar debido a las bajas eficiencias de aplicación de riego y la poca distancia de las áreas cultivadas a las fuentes hídricas superficiales.

La propuesta metodológica aplicada permitió identificar de manera integral el nivel de vulnerabilidad de las diferentes coberturas de una cuenca hidrográfica y está en función de los parámetros de análisis en diferentes grados de importancia. En este sentido, el modelo representa una herramienta valiosa para la planificación territorial ambiental, dado que permite tener información importante de la primera etapa del proceso de gestión del riesgo. Una siguiente etapa del proceso sería una modelación de la contaminación difusa y su correspondiente calibración. De esta manera sería posible predecir el impacto de las medidas de mitigación aplicadas.

CONTRIBUCION A LA AUTORIA

Primer autor: Conceptualización, metodología, análisis de resultados, escritura borrador original, edición. **Segundo autor:** Revisión de literatura, búsqueda de información cartográfica digital, procesamiento de información cartográfica y revisión. **Tercer autor:** Resumen, análisis de resultados, conclusiones y revisión.

AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan agradecimiento al Sistema Nacional de Regalías y a la Universidad del Valle por el soporte económico e institucional para la realización de este trabajo.

LITERATURA CITADA

- Abdullah, L. y Adawiyah, R. (2014). Simple Additive Weighting Methods of Multi criteria Decision Making and Applications: A Decade Review. *International Journal of Information Processing and Management*, 5, (1), 39-49.
- Cardona, A. J. (2003). Calidad y riesgo de contaminación de las aguas superficiales en la micocuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Chandio, I., Matori, A., WanYusof, K., Talpur, M., Balogun, A. y Lawal, D. (2013). GIS-based analytic hierarchy process as a multicriteria decision analysis instrument: a review. *Arabian Journal of Geosciences*, 6, 3059–3066. <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0568-8>
- Cotler, H., y Lura, D. (2011). Contaminación potencial difusa por actividad agrícola. En "Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y Priorización." México, DF.
- Custodio, E., Garrido, A., Coletto, C. y Salmoral, G. (2012). The challenges of agricultural diffuse pollution. In L. De Stefano & R. Llamas (Eds.), *Water, Agriculture and the Environment in Spain: can we square the circle?* (pp. 153–164). Madrid, España.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). (2018). Visor Avanzado. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Recuperado de https://www.geo.cvc.gov.co/visor_avanzado/
- Eimers, J. L., Weaver, J. C., Terziotti, S., y Midgette, R. W. (2000). *Methods of Rating Unsaturated Zone and Watershed Characteristics of Public Water Supplies in North Carolina*. Raleigh.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2009). *Análisis de Sistemas de Gestión del Riesgo de Desastres. Análisis de Sistemas de Gestión del Riesgo de Desastres*. Roma: FAO.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2015). Carta mundial de los suelos. Retrieved from <http://www.fao.org/3/b-i4965s.pdf>
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018). *El estado mundial de la agricultura y alimentación*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. ISSN 0251-1371. Roma, Italia.
- Ferrier, R. C., D'Arcy, B. J., MacDonald, J., y Aitken, M. (2005). Diffuse pollution - what is the nature of the problem? *Water and Environment Journal*, 19(4), 361–366. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2005.tb00574.x>
- Fischer, M., y Getis, A. (2010). *Handbook of Applied Spatial Analysis Software Tools, Methods and Applications*. Springer. e-ISBN 978-3-642-03647-7. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-03647-7>.
- Giupponi, C., Eiselt, B., y Ghetti, P. F. (1999). A multicriteria approach for mapping risks of agricultural pollution for water resources: the venice lagoon watershed case study. *Journal of Environmental Management*, 56 (4), 259–269. <https://doi.org/10.1006/jema.1999.0283>
- Goudie, A. (2013). *The human impact on the natural environment: past, present, and future*. Seventh edition. A John Wiley & Sons, Ltd., Publication. p. 424.
- Grizzetti, B., Bouraoui, F., y De Marsily, G. (2005). Modelling nitrogen pressure in river basins: A comparison between a statistical approach and the physically-based SWAT model. *Physics and Chemistry of the Earth*, 30(8–10), 508–517. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2005.07.005>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2018). Sistema de Información para la Gestión de datos Hidrológicos y Meteorológicos – DHIME. Consulta y Descarga de datos Hidrometeorológicos. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Recuperado de <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). (2004). Levantamiento de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento del Valle del Cauca. Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC & Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC, Eds. Cali, Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) & Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). (2016). Levantamiento semi-detallado de suelos Escala 1:25000. Convenio Interadministrativo 4488 IGAC – 087 CVC de 2014. Cali, Colombia.
- Kaliszewski I. y Podkopaev, D. (2016). Simple additive weighting - A metamodel for multiple criteria decision analysis methods. *Expert Systems with Applications*, 54, 155–161. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.01.042>
- Lam, Q. D., Schmalz, B., y Fohrer, N. (2010). Modelling point and diffuse source pollution of nitrate in a rural lowland catchment using the SWAT model. *Agricultural Water Management*, 97(2), 317–325. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.10.004>
- Liu, R., Xu, F., Zhang, P., Yu, W., y Men, C. (2016). Identifying non-point source critical source areas based on multi-factors at a basin scale with SWAT. *Journal of Hydrology*, 533, 379–388. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.12.024>
- Macary, F., Morin, S., Probst, J. L., y Saudubray, F. (2014). A multi-scale method to assess pesticide contamination risks in agricultural watersheds. *Ecological Indicators*, 36, 624–639. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.09.001>
- MAVDT - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Vice-ministerio de ambiente. Grupo de Recurso Hídrico. Bogotá. D. C.
- Malczewski, J., y Rinner, C. (2015). Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science. eBook ISBN 978-3-540-74757-4. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74757-4>
- Ministerio de Protección Social y Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). Resolución 549 DE 2017. Recuperado de <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0549 - 2017.pdf>
- Narváez, L., Lavell, A., y Pérez, G. (2009). La Gestión del Riesgo Un enfoque basado en procesos. (COMUNIDAD ANDINA, Ed.) (1 ed). Lima. Recuperado de http://www.comunidadandina.org/predecan/doc/libros/PROCESOS_ok.pdf
- Oliver, M. A., y Webster, R. (2014). A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *Catena*, 113, 56 – 69. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.09.006>
- Panagopoulos, Y., Makropoulos, C., Baltas, E., y Mimikou, M. (2011). SWAT parameterization for the identification of critical diffuse pollution source areas under data limitations. *Ecological Modelling*, 222(19), 3500–3512. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.08.008>
- Robertson, G.P. (2008). Geostatistics for the Environmental Sciences. Gamma Design Software. Plaiwell, Michigan USA. p. 179.
- Rocha, J., Roebeling, P., y Rial-Rivas, M.E. (2015). Assessing the impacts of sustainable agricultural practices for water quality improvements in the Vouga catchment (Portugal) using the SWAT model. *Science of the Total Environment*, 536, 48–58. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.038>
- Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98.
- Shiferaw, B., Bank, W., Freeman, A., Bank, W., y Swinton, S. (2005). Natural resource management in agriculture: methods for assessing economic and environmental impacts. Retrieved from https://books.google.com.co/books/about/Natural_Resources_Management_in_Agricult.html?id=CqVoz7LUHfIC&redir_esc=y
- Taylor, S. D., He, Y., y Hiscock, K. M. (2016). Modelling the impacts of agricultural management practices on river water quality in Eastern England. *Journal of Environmental Management*, 180, 147–163. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.05.002>
- UNISDR (2017). Terminology on Disaster Risk Reduction. Retrieved from <https://www.unisdr.org/we/inform/terminology>

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 Y COMPOSICIÓN DE PLANTAS VASCULARES EN HUMEDALES DEL PÁRAMO RABANAL, BOYACÁ- COLOMBIA

DIVERSITY AND COMPOSITION OF VASCULAR PLANTS IN WETLANDS OF THE PARAMO RABANAL, BOYACÁ- COLOMBIA

¹ **Magda Juliana Cuello Salinas**

² **Manuel Galvis Rueda**

¹Msc. en Ciencias Biológicas. Grupo de Estudios en Ecología, Etología, Educación y Conservación (GECOS). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia

²Msc. en Educación. Grupo de Estudios en Ecología, Etología, Educación y Conservación (GECOS). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia

¹magda.cuello@uptc.edu.co; ²manuel.galvis@uptc.edu.co

RESUMEN

Contextualización: El páramo de Rabanal posee humedales que proveen el recurso hídrico, indispensable para el desarrollo de la economía y de la seguridad alimentaria de la región. Este ecosistema está siendo alterado por la presión que ejercen las diversas actividades antrópicas productivas y económicas, por lo cual, el humedal pierde la capacidad para retener y almacenar agua, facilitando la expansión de especies exóticas que aumentan la sedimentación, reduciendo los niveles de retención y almacenamiento de agua, degradando el suelo y evitando el crecimiento de especies nativas. La vegetación asociada permite la regulación del ciclo hidrológico y favorece una medida de adaptación al clima cambiante.

Vacío de investigación: en los humedales del páramo Rabanal existe escasa información sobre la influencia de la vegetación asociada a los cuerpos de agua que contribuyen a su conservación.

Propósito del estudio: identificar la flora vascular presente en las zonas circundantes a los humedales artificiales del páramo Rabanal.

Metodología: se realizó la caracterización, composición y estructura de la vegetación vascular en zonas circundantes de los embalses Teatinos, Gachaneca I y II en el páramo Rabanal, en municipios de Ventaquemada y Samacá, Boyacá, en cinco salidas de campo se hizo el levantamiento de 32 parcelas dependiendo de las características fisionómicas de la vegetación siguiendo un diseño anidado. El material vegetal se procesó en el Herbario de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia de Tunja (UPTC); la determinación se hizo con el apoyo de claves taxonómicas, bases de datos y expertos. En términos de riqueza, la diversidad se comparó entre los embalses mediante un Análisis de Varianza en rangos o prueba de Kruskal-Wallis.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.3425>

Resultados y conclusiones: la mayor riqueza de especies de Margalef se presentó en la parcela P2 (5,40), la mayor dominancia de Simpson fue para la parcela P2 (0,95), la mayor diversidad de Shannon corresponde a la parcela P2 (4,39) del Embalse Teatinos, el índice de similaridad de Sørensen indica que los embalses Gachaneca I y II, poseen un 52,63% de similaridad. La evidencia de actividades antrópicas productivas y económicas provoca una pérdida de la vegetación nativa y una fragmentación del ecosistema.

Palabras clave: composición; diversidad; embalses; estructura; riqueza; paramo; comunidades vegetales.

ABSTRACT

Contextualization: The Paramo of Rabanal has wetlands that provide the water resource, indispensable for the development of the economy and food security of the region. This ecosystem is being altered by the pressure exerted by the various productive and economic human activities, which means that the wetland loses the capacity to retain and store water, facilitating the expansion of exotic species that increase sedimentation, reducing water retention and storage levels, degrading soil and preventing the growth of native species. The associated vegetation allows the regulation of the hydrological cycle and promotes a measure of adaptation to the changing climate.

Knowledge gap: there is little information on the influence of vegetation associated with water bodies that contribute to their conservation in the wetlands of the Rabanal paramo.

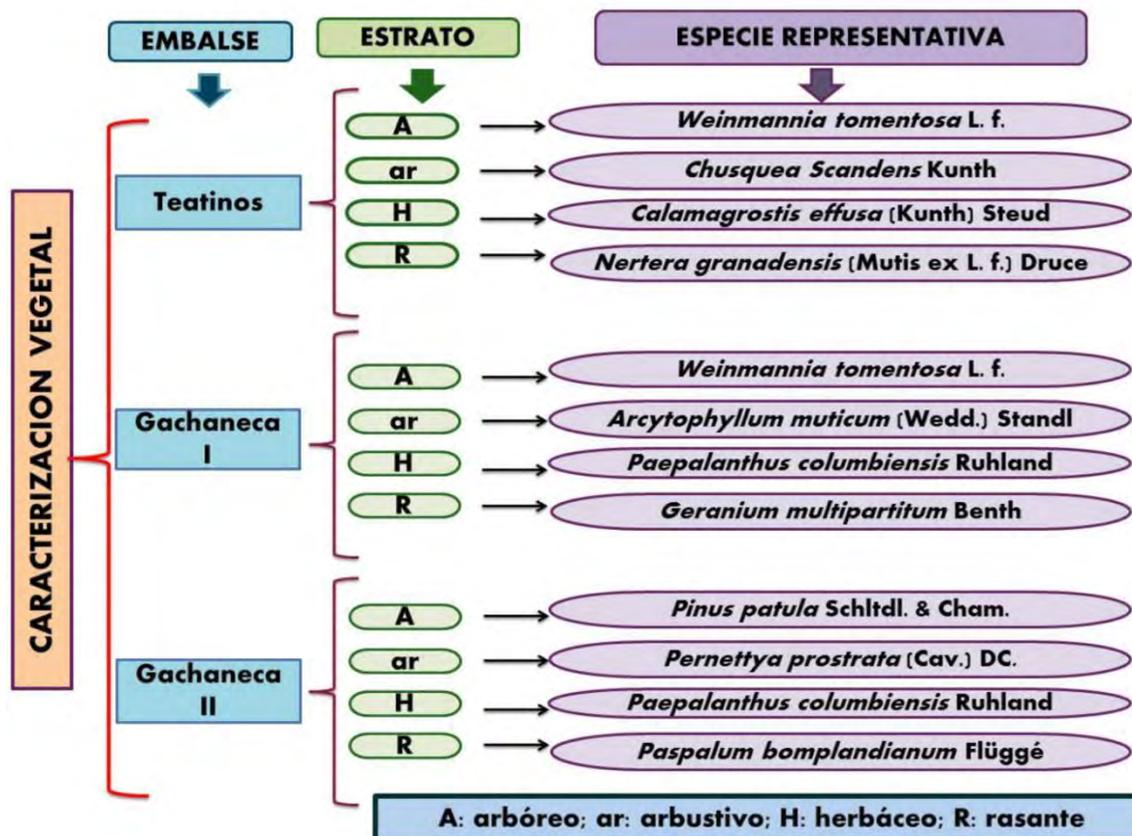
Purpose: identify the vascular flora present in the areas surrounding the artificial wetlands of the Rabanal paramo.

Methodology: the characterization, composition and structure of vascular vegetation was carried out in the areas surrounding the Teatinos, Gachaneca I and II reservoirs in the Rabanal paramo, in the municipalities of Ventaquemada and Samacá, Boyacá, in five field trips was made the survey of 32 plots depending on the physical characteristics of the vegetation following a nested design. The plant material was processed at the Herbarium of the Pedagogical and Technological University of Colombia, Tunja (UPTC); the determination was made with the support of taxonomic keys, databases and experts. In terms of richness, diversity was compared between reservoirs using a Variance Analysis in ranges or Kruskal-Wallis test.

Results and conclusions: The greatest richness of Margalef species was presented in plot P2 (5,40), the greatest dominance of Simpson was for plot P2 (0,95), the greatest diversity of Shannon corresponds to plot P2 (4,39) of the Teatinos Reservoir, the similarity index of Sørensen indicates that the reservoirs Gachaneca I and II, have 52,63% similarity. Evidence of productive and economic anthropic activities leads to loss of native vegetation and fragmentation of the ecosystem.

Key words: composition; diversity; reservoirs; structure; wealth; paramo; plant communities.

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: Autores.

1. INTRODUCCIÓN

Los páramos son regiones desarboladas y frías (oscila entre 2-10°C) situadas en la parte más alta de las montañas, entre el límite superior del bosque alto andino (3.200-3.800 m de altitud) y el límite inferior de las nieves perpetuas (4.400-4.700 m de altitud) (Cuatrecasas, 1989), son considerados como biomas exclusivos de las montañas neotropicales que se distribuyen a manera de islas sobre las cadenas montañosas de Costa Rica, Panamá y los Andes de Venezuela, Colombia, Ecuador y el norte de Perú (Cleef 1978, Molano 1989, Luteyn 1999). Las altas montañas andinas sobresalen por la calidad de sus paisajes, la gran diversidad de formas de vida que allí persisten y las importantes funciones ecológicas que

presentan (Tapia, 2014). Los páramos se destacan por su oferta de servicios ecosistémicos, como la conservación de la biodiversidad, la provisión de hábitats para distintas especies, la regulación hídrica, la absorción de carbono (Buytaert et al., 2007). Los páramos poseen un conjunto muy característico de humedales de gran importancia para las comunidades humanas que han habitado en sus áreas de influencia para el desarrollo de las poblaciones (Etter, McAlpine y Possingham, 2008).

La población cada vez más depende del páramo directa o indirectamente, lo que ha generado disturbios en estos ecosistemas los últimos años, diferentes actividades como

minería, forestación con especies exóticas, construcción de vías, acueductos, sistemas de drenajes y represas, lo han convertido en un ecosistema amenazado por el incremento de presión sobre los recursos naturales que posee (Gomezcoello, 2020). Estas actividades afectan directamente la estructura del suelo de páramo y de los servicios ecosistémicos que proporciona, y por ende produce la reducción de la cobertura vegetal, afectando la zona de captación de las principales microcuencas y la capacidad amortiguadora de la vegetación (CAR y Corpochivor, 2002).

Los humedales son ecosistemas en constante relación con masas de agua donde se encuentran plantas adaptadas a estas condiciones (Mitsch y Gosselink, 1993). Los humedales son considerados como ecosistemas de gran fragilidad asociada a causas naturales como el cambio climático, las sequías prolongadas en la puna y a la intervención humana, como en los casos de la agricultura, ganadería, el pastoreo excesivo y la minería a cielo abierto (García, Torres, & García, 2015). Una dimensión de la vulnerabilidad de los humedales altoandinos al cambio climático ha sido añadida por las acciones humanas y tiene que ver con los cambios en el balance hídrico en las cuencas de captación (Franco-Vidal, Delgado, & Andrade, 2013).

Los humedales al ser alterados por cambios en el régimen hidrológico, exceso de sedimentos y contaminación, facilitan la expansión de especies invasoras, y a la vez con su biomasa de raíces contribuyen a incrementar la sedimentación (Vargas & Díaz, 2012). Las coberturas naturales de páramo y bosque altoandino son las que mejor contribuyen a regular el ciclo hídrico (Bruijnzeel, 2004), y por ende, favorecen una gestión de adaptación al clima cambiante (Franco, Delgado, & Andrade, 2013). En las cuencas de captación, la conversión de

bosques altoandinos a pastos y las plantaciones forestales con pinos, eucaliptos y acacias, reducen los niveles de retención y almacenamiento de agua, generando la degradación de suelos (Franco et al., 2013).

Muchos humedales de montaña se han degradado por el mal manejo y desconocimiento de su importancia económica y ecológica (García et al., 2015). En los humedales del páramo de Rabanal se evidencian plantaciones de pinos, con una extensión aproximada de 1.031,59 ha (IAvH et al., 2008), se producen fuertes cambios en las propiedades químicas de los suelos, porque el crecimiento de las plantas, que implica la extracción de nutrientes, altera las propiedades químicas de estos, debido a la pérdida masiva de elementos y la acidificación del medio por la hojarasca del eucalipto y del pino principalmente, igualmente las propiedades hidrofísicas también son alteradas por la elevada evapotranspiración (Fernández et al., 2019).

Los humedales altoandinos desempeñan una función vital en el desarrollo de las cuencas andinas, así como de otros sistemas hidrográficos, ya que sus aguas fluyen hacia las vertientes de la Amazonía y hacia las costas del Pacífico y el Caribe, estos humedales y complejos de humedales mantienen una diversidad biológica única y se caracterizan por un alto nivel de endemismo de plantas y animales (García et al., 2015). Dada la importancia de estos ecosistemas, el Complejo Rabanal y Rio Bogotá cumple una función de abastecer agua que beneficia a cerca de 300 mil personas y nutre 92 acueductos locales, genera el recurso para la principal productora de energía eléctrica del país: el embalse de La Esmeralda (Central Hidroeléctrica de Chivor), e irriga más de un millón de hectáreas a través de los embalses de Gachaneca I y II (IAvH et al., 2008).

El embalse Teatinos abastece a la ciudad de Tunja y ocupa un área de 10'740.000 metros cúbicos (Proactiva, 2014), el embalse Gachaneca I tiene una capacidad de 4'720.000 metros cúbicos; el embalse Gachaneca II ocupa 28,5 hectáreas, con una capacidad de 1'495.000 metros cúbicos (Espinosa y Espinosa, 2017), estos embalses son indispensables para la economía y seguridad alimentaria de la región. Los embalses de alta montaña como el sistema Gachanecas está rodeado de vegetación nativa como puyas, pajonales, frailejones (IAvH et al., 2008), típicos del páramo que cumplen la función de condensar el vapor y la lluvia horizontal que se da cuando el aire cargado de agua choca con los riscos y la vegetación. Por escorrentía y acumulación en turberas y en los suelos va a abastecer los embalses que sostienen la actividad de agricultura y minería en el municipio, en las épocas de baja disponibilidad, lo que hace que sea esencial mantener el sistema de páramo y alta montaña y fortalecer iniciativas para restaurar zonas que han sido degradadas por diversas intervenciones humanas (Espinosa y Espinosa, 2017).

Sin embargo, el páramo de Rabanal está amenazado principalmente por los largos procesos de intervención humana que, desde épocas precolombinas, han transformado su paisaje en un complejo mosaico socioecológico. Las coberturas vegetales y las formas de uso del suelo ponen en evidencia las distintas condiciones biofísicas y la diversidad de sistemas productivos desplegados por los habitantes, las empresas privadas y las instituciones públicas que han confluído allí a lo largo del tiempo (Fernández et al., 2019). Los principales objetivos del estudio fueron: a) identificar la influencia de la vegetación vascular en la estabilidad de los humedales

artificiales del páramo Rabanal, b) Caracterizar la estructura y composición de la flora vascular en los humedales artificiales del páramo Rabanal, c) Elaborar un catálogo descriptivo de la flora vascular en estructura y composición en los humedales artificiales del páramo Rabanal.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el denominado Complejo Rabanal y Rio Bogotá, abarca un área de 24.650,064 hectáreas, ubicado en la frontera entre los departamentos de Cundinamarca y Boyacá en un sector central de la cordillera oriental de Colombia a 5° N y 73° O, específicamente en las zonas altas pertenecientes a los municipios de Ventaquemada y Samacá en el departamento de Boyacá, en las zonas circundantes a los embalses Teatinos, Gachaneca I y Gachaneca II (Figura 1) (Tabla suplementaria 1). Los muestreos se realizaron en cinco salidas de campo durante febrero y abril de 2018, se empleó un muestreo anidado (Stohlgren et al., 1995), este muestreo permite realizar mediciones de la diversidad de especies y comparar diferentes comunidades vegetales, en esencia este diseño consiste en la ubicación de manera anidada de cuadrantes (subparcelas) de 100 m², 10 m² y 1 m² sucesivamente, dentro de uno mayor de 1000 m² (Figura 2) (González-Oliva et al., 2017), dependiendo de las características fisonómicas de la vegetación (Tabla 1), se escogió un tamaño de levantamiento particular (modificado de Rangel y Velásquez, 1997) si la vegetación corresponde a un solo estrato, se empleó el área de muestreo que correspondía a esa fisonomía. En el área de estudio se realizaron 32 parcelas con un área total de 1277 m², 4 parcelas para el estrato arbóreo, 15 para el estrato arbustivo y 13 para el estrato herbáceo.

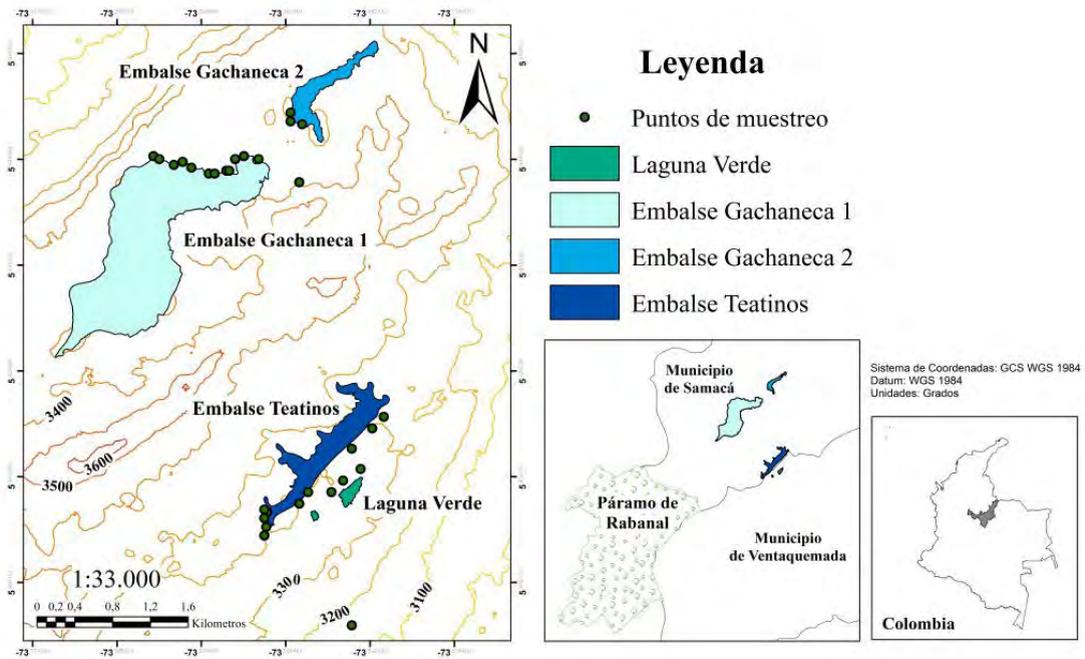


Figura 1. Localización del área de estudio: Ubicación de las parcelas en los embalses Teatinos, Gachaneca I Y Gachaneca II.

Fuente: Autores.

Tabla 1. Estratos de las características fisonómicas de la vegetación

Estrato	Levantamientos	Altura
Rasante	1x1 m	0-30 cm
Herbáceo	2x2 m	>0,30 -1,5
Arbustivo	5x5 m	>1,5 - 5 m
Arbóreo inferior	10x10 m	>5 - 12 m
Arbóreo superior	10x25 m	< 12 m

Fuente: Autores.

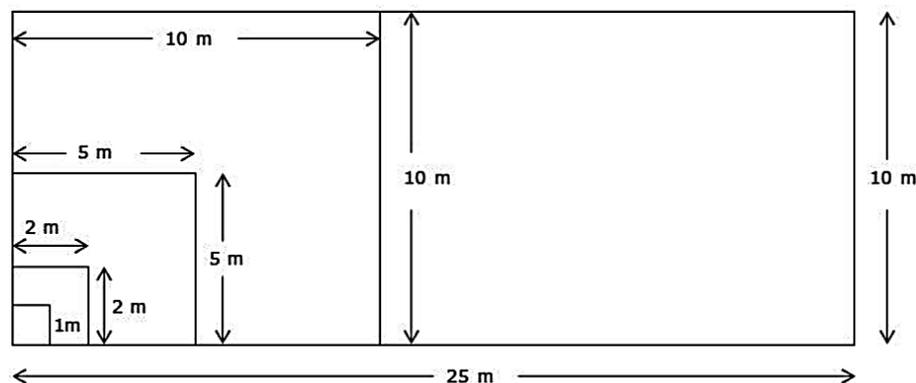


Figura 2. Diseño anidado de los levantamientos de acuerdo con la fisonomía de la vegetación.

Fuente: Autores.

Recolección de datos y análisis de la información: se censaron todas las plantas vasculares en las 32 parcelas, en un área total de 1277 m², se registró la información de cada individuo (nombre común, familia, género, especie, número de individuos, cobertura, estrato). Para el análisis de la diversidad alfa se aplicó el índice de dominancia de Simpson, índice de riqueza de Margalef y de diversidad de Shannon-Weaver y para la diversidad beta se determinó el índice de similitud de Sørensen para los tres embalses (Anexo 2). Los ejemplares recolectados fueron prensados y se trasladaron al Herbario de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), la determinación se realizó con el apoyo de claves taxonómicas, en colaboración con el Magister Manuel Galvis Rueda y colecciones en línea (Herbario virtual UNAL y herbario virtual Jardín Botánico de Bogotá JBB).

Análisis estadístico

Se estimó la completitud del muestreo mediante el Estimador de Cobertura propuesto por Jost y colaboradores (2006). Para la elaboración de los índices de diversidad alfa y beta se empleó el programa PAST Statistics 18, la diversidad en términos de riqueza fue

comparada mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) en rangos o prueba de Kruskal-Wallis dado que los datos no cumplieron supuestos de normalidad y homocedasticidad, posteriormente se realizaron pruebas post hoc para determinar las diferencias significativas entre los embalses. Se obtuvo el índice de similitud de Bray-Curtis con el fin de evaluar la semejanza en términos de diversidad entre los embalses, cuyo valor varía entre 0 (semejanza nula) y 1 (100% de semejanza).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se censaron 2220 individuos en las 32 parcelas, con sus diferentes estratos dependiendo de las características fisonómicas de la vegetación, las familias con mayor número de géneros para los tres embalses son Asteraceae, Poaceae, Ericaceae, Melastomataceae y Rosaceae (Tabla 2) (Figura 3). Igualmente, las familias con mayor número de especies para los embalses fueron Eriocaulaceae, Ericaceae, Poaceae, Bromeliaceae, Cyperaceae, Asteraaceae, Rubiaceae, Lycopodiaceae, Cunoniaceae y Juncaceae (Figura 4), todos los ejemplares correspondían a plantas vasculares presentes en las zonas circundantes a los humedales artificiales del páramo Rabanal

Tabla 2. Número de familias, géneros y especies en los diferentes estratos de vegetación.

Embalse	Familias	Géneros	Especies	Estrato (Número de sp)			
				Rasante	Herbáceo	Arbustivo	Arbóreo
Teatinos	36	84	64	10	45	25	3
Gachaneca I	19	25	26	1	15	8	2
Gachaneca II	30	45	50	1	29	16	5

Fuente: Autores.

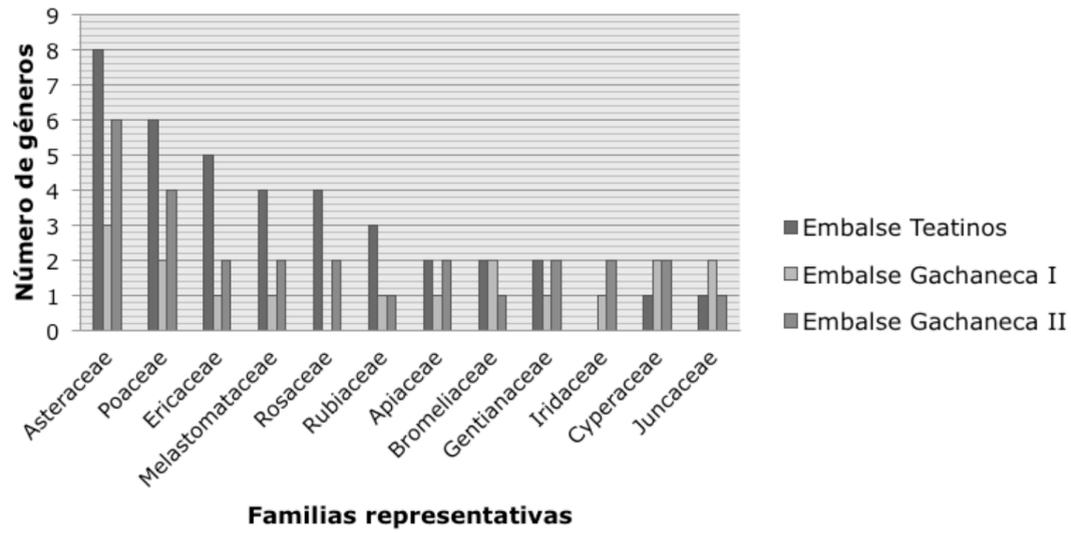


Figura 3. Familias con mayor número de géneros en los embalses Teatinos, Gachaneca I y Gachaneca II.

Fuente: Autores.

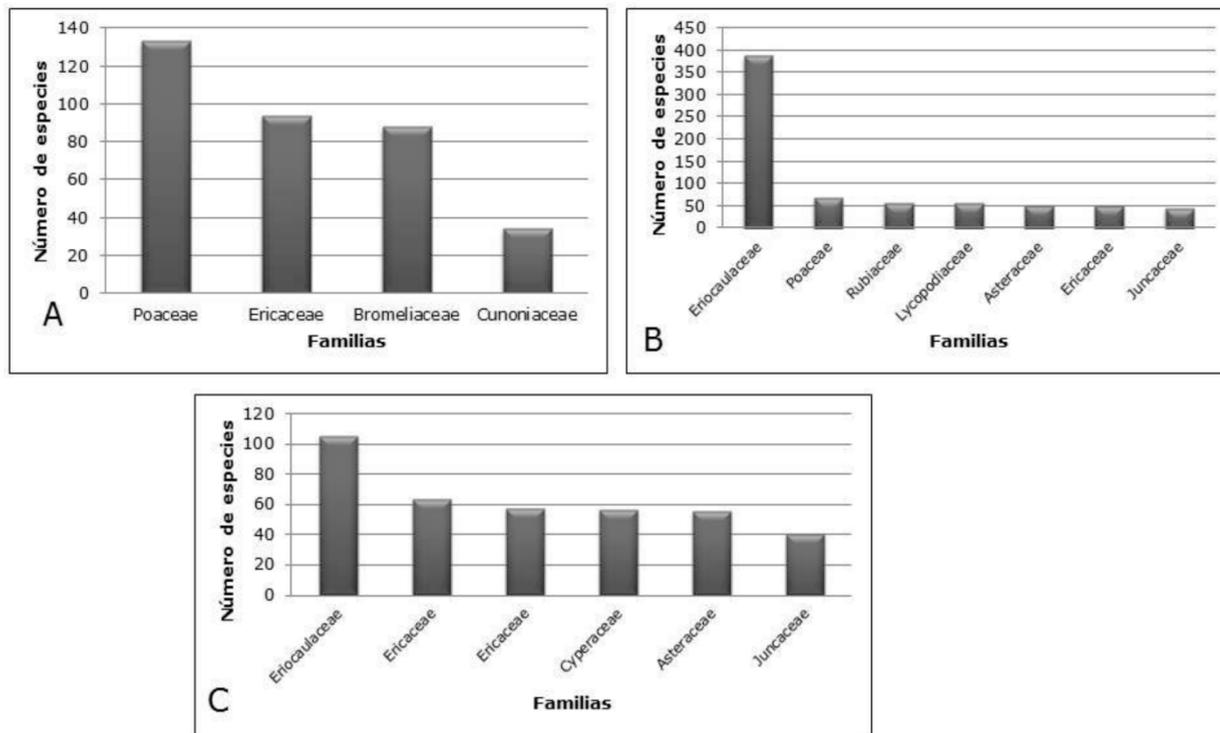


Figura 4. Familias con mayor número de especies. A. Embalse Teatinos. B. Embalse Gachaneca I. C. Embalse Gachaneca II.

Fuente: Autores.

Las especies de plantas vasculares que predominaron por su mayor número de individuos para el embalse Teatinos en el estrato arbóreo: *Weinmannia tomentosa* L.f. (34), para el estrato arbustivo *Chusquea Scandens* Kunth (133), estrato herbáceo *Calamagrostis effusa* (Kunth) Steud (160) y estrato rasante *Nertera granadensis* (Mutis ex L. f.) Druce (15), para el embalse Gachaneca I en el estrato arbóreo *Weinmannia tomentosa* L.f. y *Bucquetia glutinosa* (L. f.) DC. (1), estrato arbustivo *Arcytophyllum muticum* (Wedd.) Standl (55), estrato herbáceo *Paepalanthus columbiensis* Ruhland (389) y estrato rasante *Geranium multipartitum* Benth (6), finalmente para el embalse Gachaneca II en el estrato arbóreo: *Pinus patula* Schltl. & Cham. (35), estrato arbustivo *Pernettya*

prostrata (Cav.) DC. (63), estrato herbáceo *Paepalanthus columbiensis* Ruhland (105) y estrato rasante *Paspalum bomplandianum* Flügge (16) (Anexo 1).

El número de especies de plantas vasculares registradas para el páramo Rabanal en cada uno de los embalses representa una muestra significativa en la región paramuna del departamento de Boyacá. El Estimador de Cobertura (Jost, 2006) indica que el esfuerzo de muestreo fue suficiente con valores por encima del 99 % de representatividad para los tres embalses (Gachaneca I = 0.998; Gachaneca II = 1; Teatinos = 0.99), indicando una nula probabilidad de encontrar más especies si se aumenta el esfuerzo de muestreo, o si se registran más individuos (Figura 5).

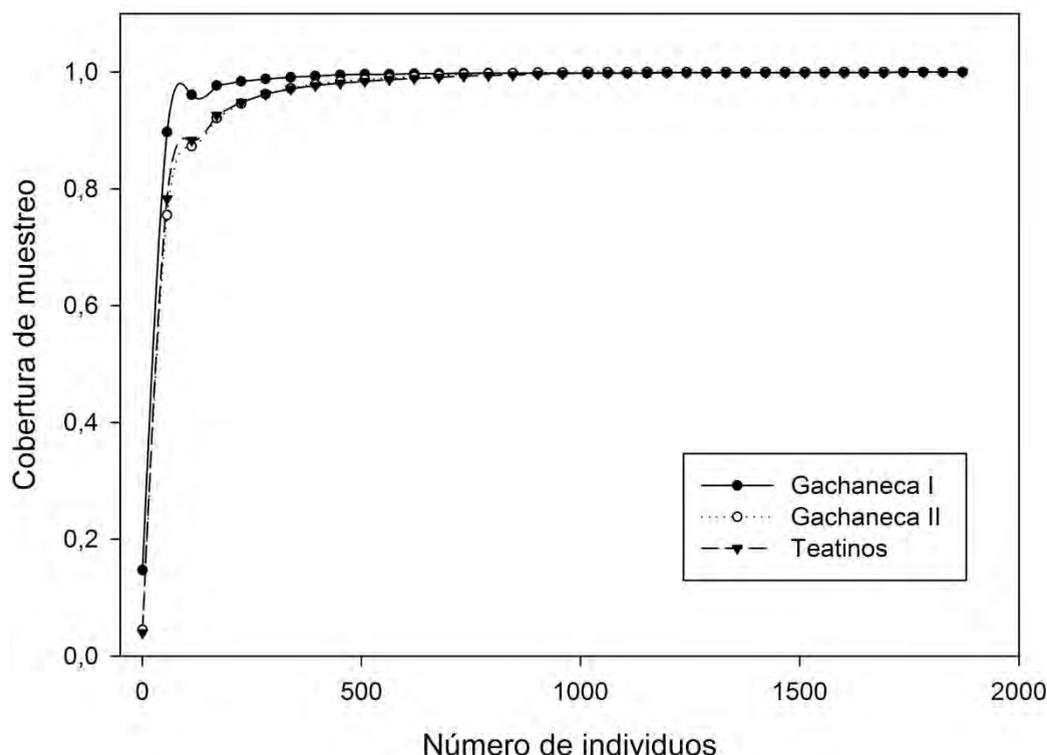


Figura 5. Curva de cobertura de muestreo para los 3 embalses con respecto al número de individuos.

Fuente: Autores.

El análisis de varianza evidenció diferencias estadísticas entre las diversidades en términos de riqueza. La diversidad de Teatinos fue significativamente diferente de la de Gachaneca I y II ($p=0.002$; $p=0.001$), por su parte Gachaneca I y Gachaneca II no tuvieron diferencias

($p=0.067$). El índice de Bray-Curtis de igual manera arroja una mayor similitud en estructura y composición de la diversidad entre Gachaneca I y II con 53 % de semejanza, siendo Teatinos el embalse más disímil con solo un 32 % de semejanza con los demás (Figura 6).

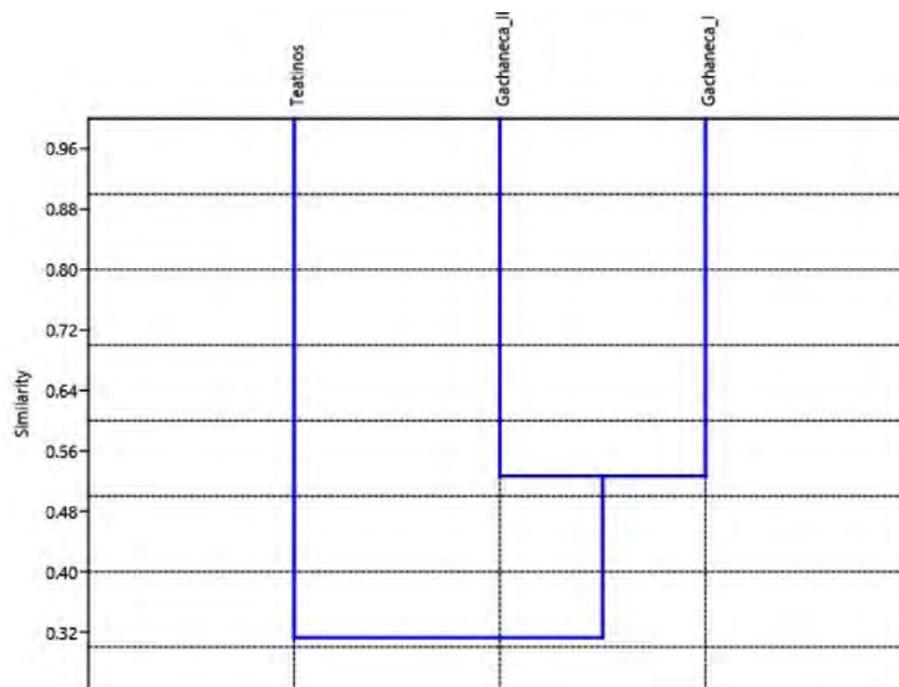


Figura 6. Similitud de Bray-Curtis entre los embalses evaluados.

Fuente: Autores.

En la lista de plantas referenciada en Capacho (2016) para el páramo de Almorzadero las familias más ricas en géneros, especies y morfoespecies son Asteraceae, Poaceae y Cyperaceae, los géneros más ricos en especies y morfoespecies son *Lachemilla*, *Hypericum*, *Carex* y *Senecio*, al comparar estos resultados con los obtenidos del presente estudio, se

evidencia que hay coincidencia en el registro de 12 familias, 13 géneros y 10 especies.

Cetina (2018) identificó las comunidades vegetales en un área de restauración ecológica de bosque altoandino, en el Parque Forestal Embalse del Neusa en Cundinamarca, determino 32 especies, 27 géneros de 19 familias,

en el cual, la familia más diversa corresponde a Asteraceae (7 especies), seguida por Hypericaceae (3), Poaceae (3) y Rosaceae (3), lo cual coincide con el presente estudio en 15 familias, 21 generos y 14 especies, el estrato herbáceo es el mas respresentativo equivalente a 42% y el menor valor corresponde al estrato rasante con un 7%, lo cual coincide con el presente

estudio. Igualmente, para los estratos de vegetacion el mayor valor es para el herbaceo con un valor de 56%, sin embargo, el menor valor se presentó para el estato arbóreo con un 6% (Figura 7), al comparar estos resultados se observa que los embalses del paramo Rabanal presentan mayor riqueza de especies, se precisa una diferencia de 64 especies.

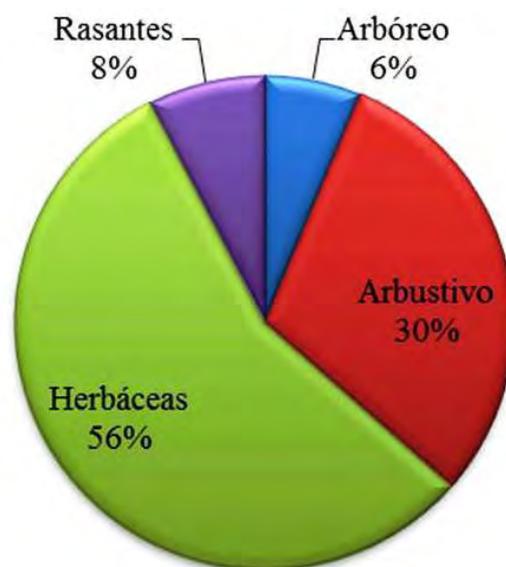


Figura 7. Distribución general de las especies según el estrato.

Fuente: Autores.

Según los valores del índice de Margalef, se consideró que el área estudiada presenta una riqueza alta, la parcela P2 registro el mayor valor de riqueza de especies ($Mg=5,40$), seguida de la parcela P1 ($4,94$), en tanto que los menores valores se encontraron en las parcelas P15 y P22 con $1,31$ y $1,42$, respectivamente. Los valores de diversidad más altos según el índice de Shannon-Wiener correspondieron a

la parcela P2 ($H^*=4,39$), P1 ($H^*=4,21$) y P19 ($H^*=4,00$), en tanto que el más bajo se registró en la parcela P15, P22, P30 y P12 ($H^*=2,23$; $H^*=2,26$; $H^*=2,41$ y $H^*=2,43$, respectivamente). Según los valores obtenidos en el índice de Simpson, las parcelas P2, P1, P5, P19 presentaron mayor dominancia ($\lambda=0,94$; $\lambda=0,93$; $\lambda=0,92$ y $\lambda=0,92$), la menor dominancia correspondió a la parcela P3 ($\lambda=0,50$) (Tabla 3).

Tabla 3. Índices de diversidad alfa

Numero de parcela	Índice de Simpson	Índice de Shannon-Weaver	Índice de Margalef
1	0,94	4,22	4,94
2	0,95	4,39	5,40
3	0,50	3,78	3,09
4	0,91	3,67	3,01
5	0,93	3,88	3,10
6	0,88	3,22	2,46
7	0,88	3,64	4,23
8	0,77	3,00	3,19
9	0,71	3,81	2,44
10	0,88	3,39	2,98
11	0,85	3,05	2,04
12	0,66	2,43	2,13
13	0,81	3,05	2,64
14	0,73	2,71	2,40
15	0,77	2,24	1,31
16	0,85	2,99	1,87
17	0,78	2,52	1,56
18	0,87	3,14	2,50
19	0,92	4,00	4,32
20	0,85	3,17	2,38
21	0,86	3,12	2,72
22	0,75	2,27	1,43
23	0,90	3,54	2,60
24	0,87	3,22	1,97
25	0,89	3,40	2,44
26	0,89	3,39	2,37
27	0,86	3,12	2,19
28	0,85	2,99	2,40
29	0,89	3,33	2,04
30	0,77	2,42	1,88
31	0,75	2,54	2,20
32	0,80	2,65	2,11

Fuente: Autores.

En cuanto al índice de Shannon-Weaver, los resultados de este trabajo mostraron que 22 de las 32 parcelas tuvieron valores mayores de 3, lo que indica una heterogeneidad de comunidad vegetal alta (Caviedes, 1999). Igualmente, para el índice de Simpson 30 parcelas presentan una diversidad alta, en general para los embalses Teatinos, Gachaneca I y Gachaneca II presentaron una dominancia baja de especies y una diversidad alta. Los valores del índice de Margalef arrojados

muestran que la Parcela P2 obtuvo un valor de 5,40 que presenta una diversidad alta, en contraste con 6 parcelas con valores menores a dos con baja diversidad (tabla 3). Al emplear el índice de similaridad de Sørensen para los tres embalses se observa que los mayores valores corresponden a los embalses Gachaneca I y II, poseen un 52,63% de similaridad de las comunidades vegetales y el menor valor para el embalse Teatinos y Gachaneca I con un 36,69% (tabla 4).

Tabla 4. Índice de diversidad beta, índice de similaridad de Sørensen para los tres embalses.

Embalse 1 (Comunidad A)	Embalse II (Comunidad B)	Índice de Sørensen
Teatinos	Gachaneca I	36,69%
Teatinos	Gachaneca II	51,12%
Gachaneca I	Gachaneca II	52,63%

Fuente: Autores.

La caracterización de las especies indicó que los embalses del páramo Rabanal, están siendo afectados por el establecimiento de especies invasoras y colonizadoras como *Acacia melanoxylon* R. Br., *Lachemilla orbiculata* (Ruiz & Pav.) Rydb., *Pinus patula* Schltdl. & Cham., *Rumex acetosella* L. y *Anthoxantum odoratum* L. que pueden remplazar las especies nativas y transformar el hábitat. La implantación de árboles exóticos en el páramo afecta la estabilidad del ecosistema, especialmente especies como el pino y eucalipto consumen abundante agua, disminuyen el rendimiento hídrico y restringen la disponibilidad de agua en el suelo formando más descomposición (Gomezcoello, 2020). Las plantaciones de pinos en páramos tienen una evapotranspiración mayor y una escorrentía menor (García y Torres, 2019), ocasionando así, una reducción en la productividad hídrica y en la cobertura vegetal natural.

Las plantaciones de pino disminuyen el valor ecológico de los ecosistemas naturales del

ecosistema paramo, las sustancias resinosas exudadas por los pinos dificultan el humedecimiento del suelo, bloqueando los poros; debido a los valores altos de porosidad, baja densidad aparente y poca capacidad de retención de humedad. Buytaert et al. (2007) demostraron en un estudio de cuencas comparadas que las plantaciones de pino pueden reducir el rendimiento hídrico del páramo hasta en un 60%, más aún que los cultivos agrícolas. En un área aproximada de 1.000 ha de pino sembrada para explotación privada en el páramo de Rabanal, las condiciones edáficas no están siendo aprovechadas de la mejor manera para la acumulación de agua, lo cual es grave, ya que este páramo provee del preciado líquido a cerca de 300.000 personas en Tunja y algunas poblaciones aledañas (Fernández et al., 2019).

4. CONCLUSIONES

La caracterización de la vegetación vascular se constituye en una herramienta fundamental para el desarrollo de estrategias de

restauración en la búsqueda del equilibrio de los ecosistemas disturbados (Rodríguez-Lombana, Beltrán-Gutiérrez, & Moreno, 2017). La flora vascular de los humedales artificiales presentó un patrón similar a estudios realizados en diversos humedales en relación a las familias más dominantes como lo son Poaceae, Cyperaceae y Asteraceae, se evidenció que el estrato herbáceo es el más dominante presente en los alrededores de los embalses.

El ecosistema de paramo brinda varios servicios ecosistémicos de vital importancia para la población humana, por tal razón, es de extrema urgencia implementar estrategias que permitan la conservación del páramo, la degradación de estos conlleva a una pérdida elevada a nivel económico, social y ecológico, se debería mantener la riqueza y el potencial inmenso que se puede obtener a través de los servicios ambientales y manejo sustentable que brinda el páramo, como son el agua para riego, para consumo humano, electricidad y uso diario (Padilla, 2014).

Existen diferencias significativas de diversidad entre los tres embalses, los embalses Gachaneca I y Gachaneca II son más parecidos en diversidad y composición que con el embalse Teatinos.

La plantación de pinos que se muestrearon en el páramo Rabanal afecta directamente las cuencas de captación, puesto que sus raíces absorben gran cantidad de agua, perjudicando directamente a la población aledaña que se beneficia de este recurso.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Todos los autores han realizado colectivamente la investigación, metodología, trabajo de campo, redacción, análisis de datos, determinación del material vegetal, conceptualización, escritura, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Pedagógica y Tecnológica, a la escuela de la Maestría en Ciencias Biológicas por su acompañamiento, al Herbario (UPTC) por facilitar el secado, montaje y determinación del material recolectado.

LITERATURA CITADA

- Buytaert, W., Iniguez, V., y Bièvre, B. D. (2007). The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. *Forest Ecology and Management*, 25(1), 22-30. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.035>
- Bruijnzeel, L. A. Sampurno. (2004). Hydrological functions of tropical forests: Not Seeing the Soil for the Trees? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104(1), 185-228. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.015>
- Capacho, D. I. (2016). La vegetación de los humedales altoandinos del sector de Presidente, páramo de Almorzadero (Norte de Santander, Colombia) (Tesis de Doctorado). Universidad de Alicante, España.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) y Corporación Autónoma de Chivor (CORPOCHIVOR). (2002). Conservación y manejo sostenible de los páramos Cristales, Castillejo, cuchilla el Choque y nacimiento río Bogotá. Versión digital. Bogotá, D. C., Colombia. Recuperado de: <http://sie.car.gov.co/handle/20.500.11786/35709>
- Caviedes, B. M. (1999). Manual de métodos y procedimientos estadísticos. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia.
- Cetina, A. (2018). Comunidades vegetales de páramo presentes en un área de restauración ecológica de bosque altoandino, Parque Forestal Embalse del Neusa (Cundinamarca-Colombia). Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/40227>
- Cleef A. M. (1978). Characteristics of neotropical paramo vegetation and its subantarctic relations. In: Troll, C. & Lauer, W. (eds.), *Geological relations between the southern temperate zone and the tropical mountain*. (pp. 365-390). Erdwiss Forsch. Wiesbaden, Germany.

- Cuatrecasas, J. (1989). Aspectos de la vegetación natural de Colombia. *Pérez- Arbelaezia* 2(8): 155-283.
- Espinosa, J. S., y Espinosa, A. J. (2017). Problemática ambiental Paramo de Rabanal en Samacá: Visión desde la asociación de usuarios del distrito de adecuación de tierras de Samacá (ASUSA). Universidad pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/327977614_PROBLEMATICA_AMBIENTAL_PARAMO_DE_RABANAL_EN_SAMACA_VISION_DESDE_LA_ASOCIACION_DE_USUARIOS_DEL_DISTRITO_DE_ADECUACION_DE_TIERRAS_DE_SAMACA_ASUSA
- Etter, A., McAlpine, C., y Possingham, H. (2008). Historical patterns and drivers of landscape change in Colombia since 1500: A regionalized spatial approach. *Annals of the Association of American Geographers*, 98(1), 2-23. <https://doi.org/10.1080/00045600701733911>
- Fernández, C. J., Cely, G. E., y Serrano, P. A. (2019). Cuantificación de la captura de carbono y análisis de las propiedades del suelo en coberturas naturales y una plantación de pino en el páramo de Rabanal, Colombia. *Revista Colombiana de Geografía*, (28), 121-133. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n1.66152>
- Franco-Vidal, L., Delgado, J., y Andrade, G. (2013). Factores de la vulnerabilidad de los humedales altoandinos de Colombia al cambio climático global. *Revista Colombiana de Geografía*, 22(2), 69–85. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v22n2.37018>
- García, M. (2019). Estudio comparativo entre vegetación de páramo conservado e intervenido por plantación de pino, Cotopaxi-Ecuador (tesis de pregrado). Universidad Central de Ecuador, Quito, Ecuador. Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19328>
- García, J. E., Torres, J., y García, F. T. (2015). Identificación de especies en los humedales altoandinos de la concesión para la Conservación Alto Huayabamba. *Scientia*, 7(1), 13–18.
- Gomezcoello, C. A. (2020). *Resiliencia de la microcuenca del río Matadero frente a riesgos exógenos* (tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/34106>
- González-Oliva, L., Ferro-Díaz, Rodríguez-Cala, J., D. y Berazaín., R. (2017). Métodos de inventario de plantas. En C. A. Mancina y D. D. Cruz. (Ed.), *Diversidad biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas* (p. 60-85). Habana, Cuba: Editorial AMA, La Habana. Recuperado de: <https://www.latinamerica.undp.org/content/rblac/es/home/library/poverty/-diversidad-biologica-de-cuba--metodos-de-inventario--monitoreo-.html>
- Instituto Von Humboldt (IAvH), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) Corporación Autónoma Regional de Boyacá (CORPOBOYACÁ) y Corporación Autónoma de Chivor (CORPOCHIVOR). (2008). Estudio sobre el estado actual del macizo del páramo de Rabanal Convenio interadministrativo No. 07-06-263-048 (000404). Recuperado de: <https://fauna.corpochivor.gov.co/wp-content/uploads/2016/04/Estudio-del-estado-actual-del-paramo-de-Rabanal.pdf>
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Opinion*, 113(2), 363-375.
- Luteyn, J. L. (1999). Páramos: A check list of plant diversity, geographical distribution and botanical literature. *Memoirs of the New York Botanical Garden* (84), 1-278.
- Mitsch, W. J. y Gosselink, J. G. (1993). *Wetlands*, 2nd Edition. Van Nostrand Reinhold Co., New York, NY, USA. 1-722.
- Molano, J. (1989). Biogeografía de los páramos de Colombia. *Revista de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo*, 19(1), 5-10.
- Padilla, M. (2014). *Estudio multitemporal del uso del suelo y cobertura vegetal natural en el páramo de la parroquia Mulaló* (tesis de maestría). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/7692>
- Proactiva Aguas de Tunja (2014). *Análisis y formulación de la ingeniería básica de alternativas para el abastecimiento futuro de agua para la ciudad de Tunja* (Informe de la Gerencia operativa y de construcciones). Tunja, Colombia. Recuperado de: https://alcaldiatunja.micolombiadigital.gov.co/sites/alcaldiatunja/content/files/000712/35570_2019_23dic_otro_si_contrato_concesion_132_1996.PDF
- Rangel-Ch, J. O., y Velázquez, A. (1997). Métodos de estudio de la vegetación. In J. O. Rangel-ch (Ed.), *Colombia Diversidad Biótica II* (Universidad, pp. 59–87). Santa Fé de Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM- y Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales.

- Rodríguez-Lombana, A. R., Beltrán-Gutiérrez, H. E., y Moreno, A. C. (2017). Caracterización florística del bosque subandino y algunas áreas disturbadas en San Bernardo (Cundinamarca), Colombia. *Biota Colombiana*, 18(2), 42–71. <https://doi.org/10.21068/c2017.v18n02a04>
- Stohlgren, T. J., M. B. Falkner y L. D. Schell. (1995). A modified-Whittaker nested vegetation sampling method. *Vegetatio* 117(2), 113-121.
- Tapia, C. (2014). *Plan Participativo de Manejo y Conservación del Páramo de Rabanal (No. 45). Bogotá, Colombia*. Recuperado de <http://paramos.humboldt.org.co>
- Vargas, O., y Díaz, A. (2012). Primera parte. In *Catálogo de plantas invasoras de los humedales de Bogotá* (pp. 13–23). Bogotá, D.C.

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.

ELABORACIÓN DE UN MODELO NEURONAL ARTIFICIAL PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS MARINAS

DEVELOPMENT OF AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK MODEL FOR ESTIMATION OF BOD IN SEAWATERS

¹**Reynaldo José Meza Castellar**

²**Luis Octavio González Salcedo**

¹*Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia*

²*Doctor en Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia*

¹rjmezac@unal.edu.co; ²logonzalezsa@unal.edu.co

RESUMEN

Contextualización: los modelos neuronales artificiales son modelos diseñados a partir de métodos numéricos denominados Redes Neuronales Artificiales. El uso de estos, como herramienta de predicción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), ha demostrado diversas ventajas, entre otras, la reducción del tiempo y los costos económicos asociados a este parámetro. La DBO generalmente requiere de 5 a 7 días, así como múltiples reactivos químicos, para poder establecer los niveles de materiales orgánicos en las aguas.

Vacío de investigación: los modelos neuronales artificiales permiten calcular la DBO en tiempo real, a partir de variables fisicoquímicas registradas *in situ*. A pesar de ello, las redes neuronales artificiales no han sido utilizadas hasta ahora como método de estimación de la DBO en aguas marinas de Colombia.

Propósito del estudio: teniendo en cuenta este aspecto, en la presente investigación se elaboró un modelo neuronal artificial que permite estimar la DBPO en aguas del Mar Caribe Colombiano.

Metodología: para elaborar el modelo fue necesario realizar cinco simulaciones (constituidas por un número de 2 a 3 capas ocultas, y de 5 a 20 neuronas por capa). El desempeño predictivo de cada una de estas se evaluó a través del coeficiente de correlación.

Resultados y conclusiones: los valores más altos de este indicador estadístico (0,937, 0,951, 0,953, y 0,941), se obtuvieron para el modelo que utilizó 3 capas, de 20 neuronas cada una, en sus cuatro etapas de aprendizaje (entrenamiento, validación, prueba, y todos los datos). Estas cifras indican un cercano ajuste entre los datos

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.3441>

observados y las estimaciones hechas por la red. Estos resultados demuestran además que la Demanda Bioquímica de Oxígeno puede ser estimada numéricamente, en aguas marinas, a través de modelos neuronales artificiales.

Palabras clave: Levenberg-Marquardt; Mar Caribe; neurona.

ABSTRACT

Contextualization: Artificial Neural Networks are models designed from numerical methods called Artificial Neural Networks. The use of these, as a Biochemical Oxygen Demand (BOD) prediction tool, has shown various advantages, among others, the reduction of time and the economic costs associated with this parameter. BOD usually requires 5 to 7 days, as well as multiple chemical reagents, to obtain the levels of organic materials in the waters.

knowledge gap: Artificial Neural Networks models allow calculating BOD in real time from physicochemical variables recorded in situ. Despite this, artificial neural networks have not been used until now as a method of estimating BOD in Colombian seawaters.

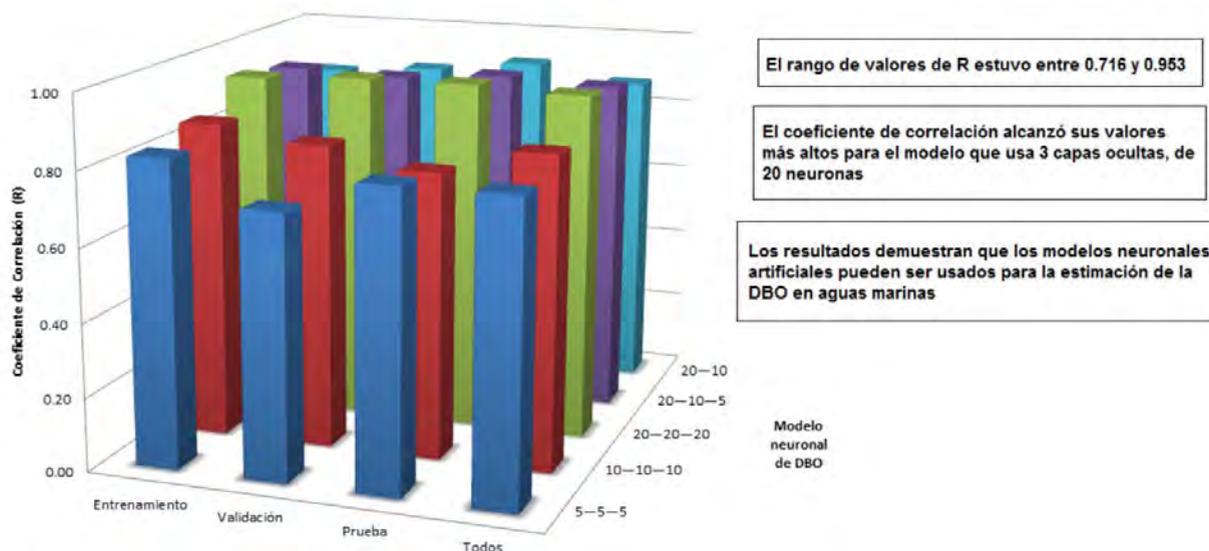
Purpose: Taking this aspect into account, an artificial neural network model that allows estimating the BOD in waters of the Colombian Caribbean Sea was developed in this research.

Methodology: For the elaboration of the model it was necessary to carry out five simulations (consisting of a number of 2 to 3 hidden layers, and 5 to 20 neurons per layer). The predictive performance of each of these simulations was evaluated through the correlation coefficient.

Results and conclusions: The highest values of this statistical indicator (0.937, 0.951, 0.953, and 0.941), were obtained for the model that used 3 layers, of 20 neurons each, in its four learning sets (training, validation, testing, and all data). These values indicate a close fit between the observed data and estimations made by the network. These results also demonstrate that Biochemical Oxygen Demand can be estimated numerically, in seawaters, through artificial neural networks models.

Keywords: Levenberg-Marquardt; Caribbean Sea; neuron.

RESUMEN GRÁFICO



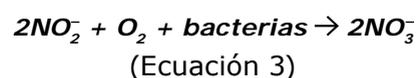
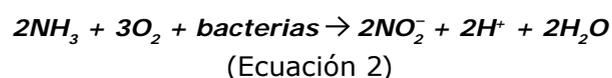
1. INTRODUCCIÓN

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es un parámetro que representa la cantidad de oxígeno disuelto en el agua que es consumido o "demandado" por microorganismos durante la degradación de compuestos orgánicos (APHA, 2005). Esta, es también una medida indirecta del contenido de sustancias orgánicas biodegradables presentes en una muestra de agua (Matos et al., 2014). La estimación experimental de este parámetro generalmente requiere un periodo de 5 a 7 días (y en algunos casos, de 20 a 25 días), el uso de múltiples reactivos químicos, y el empleo de personal capacitado en el manejo de estas sustancias (APHA, 2005; Simon et al., 2011; Tachibana et al., 2013). Con el fin de reducir el tiempo y los costos económicos que este procedimiento involucra, en la última década, se han propuesto diversos métodos numéricos como alternativas de estimación de la DBO (Abyaneh, 2014). Dentro de estos, se han usado, para tal fin, estimaciones usando *Redes Neuronales Artificiales* (RNA), de las cuales se han obtenido resultados de predicción mejores a los obtenidos con otros modelos matemáticos convencionales y de regresión estadística (Tomenko, Ahmed, & Popov, 2007; Dogan et al., 2014), los cuales se han aplicado para aguas continentales, siendo aún objeto de exploración, la estimación del parámetro usando las herramientas basadas en redes neuronales para aguas marinas (Meza, 2019). Considerando los anteriores aspectos, en este estudio, se propuso la elaboración de un modelo neuronal para la estimación de la DBO en aguas marinas del Departamento de Bolívar (Colombia). Para comprender la forma en que fue elaborado este modelo, a continuación, se describen algunos de los conceptos más relevantes.

Demanda bioquímica de oxígeno

La DBO es un proceso de tipo biológico y químico en el cual los materiales orgánicos

constituidos por carbono ($C_xH_yO_z$), y los compuestos nitrogenados provenientes de la hidrólisis de las proteínas (NH , NO^-) se oxidan en presencia de microorganismos (Phu, 2014):



El oxígeno consumido en estas reacciones (generalmente expresado en mg/L) puede ser cuantificado experimentalmente a través de un procedimiento en el que se replican las condiciones ambientales del proceso. La guía *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, en su sección 5210, describe el protocolo utilizado comúnmente para estimar la DBO en laboratorio (APHA, 2005). Debido a que este procedimiento se fundamenta en las reacciones de consumo de oxígeno para aguas continentales, diversos investigadores consideran que este puede ser inadecuado para la determinación de la DBO en aguas marinas o bajo condiciones extremas de temperatura (Howington et al., 1994; Simon et al., 2011; Matos et al., 2014).

En los mares, la demanda bioquímica de oxígeno se origina por la descomposición de los compuestos orgánicos derivados de la fotosíntesis del fitoplancton, así como en la oxidación de la materia orgánica proveniente de los ríos y áreas urbanas (Tuchkovenko & Lonin, 2003; INVEMAR, 2016). La DBO en las aguas marinas puede atribuirse también a una disminución del oxígeno producido por microalgas, o a una reducción del O_2 soluble procedente del aire (Naimpally y Rosselot, 2014). Normalmente, en áreas marinas naturales, como los

arrecifes de coral y bosques de manglar, la DBO no suele sobrepasar los 2 mg/L (Simon et al., 2011; Gandaseca et al., 2016; Severiche et al., 2017). Sin embargo, es posible encontrar demandas mucho más altas (>11.800 mg/L), en zonas costeras contaminadas por aguas residuales, o destinadas a la acuicultura y a la actividad pesquera (Muthukumaran & Baskaran, 2013; CARDIQUE, 2017).

En Colombia, se estima que anualmente las aguas marinas reciben cerca de 34.633 toneladas de materia orgánica biodegradable (en forma de DBO), desde los municipios costeros, y alrededor de 971.856 toneladas desde sus sistemas fluviales más importantes (INVE-MAR, 2016). De estos últimos, el Mar Caribe recibe aproximadamente unas 954.465 toneladas anuales, es decir, un 98% de las cargas totales de la nación (INVEMAR, 2016). Debido a ello, la costa Caribe colombiana es una de las zonas que mayor atención requiere en relación al manejo de este tipo de sustancias.

Redes neuronales artificiales

Las *redes neuronales artificiales*, son técnicas matemáticas que imitan la estructura y comportamiento de las redes de neuronas biológicas (Barthakur et al., 2012). Generalmente, una red de neuronas artificiales se encuentra conformada por tres estructuras o niveles de procesamiento de información denominados "capas". En el primer nivel, la "capa de entrada", se reciben los datos de las distintas variables independientes del modelo. En el segundo nivel o "capa oculta", se procesa y transfiere la información proveniente de la capa de entrada a las capas adyacentes. En el último nivel, la "capa de salida", se generan los resultados del modelo (Singh et al., 2009; Araghinejad, 2014). Cada una de estas capas se encuentra constituida por un conjunto de subestructuras denominadas neuronas (Singh

et al., 2009). Dichas neuronas utilizan un número real para la ponderación de los valores de entrada denominado "peso", así como una función matemática para la normalización de los datos llamada "función de transferencia" (Palani et al., 2008).

Para encontrar el patrón que más se ajusta a la respuesta deseada, una red neuronal artificial lleva a cabo un proceso denominado *aprendizaje o entrenamiento*. En él, la red identifica una combinación óptima de pesos que asegura que las salidas del modelo sean cercanas a las observaciones (Palani et al., 2008). Los datos del problema a resolver, que son usados durante esta fase se denominan *conjunto de entrenamiento*. En la práctica, junto con este, suelen usarse dos conjuntos de datos denominados *conjunto de prueba* y *conjunto de validación*, los cuales son utilizados para medir el desempeño de la red y garantizar que no hayan sobreajustes en las estimaciones (Raoufy et al., 2011).

Como parte de su entrenamiento, las RNA requieren además que el número de sus capas ocultas, y la cantidad de neuronas presentes en ellas, se modifiquen hasta obtener una combinación óptima de estas. Debido a que en el campo de la modelación neuronal no existen reglas estrictas para establecer el número adecuado de capas y neuronas en una red, usualmente, este proceso es realizado por medio de ensayo y error, o según el criterio del investigador (Tomenko et al., 2007).

En la práctica, el uso de las RNA ha demostrado ser una herramienta útil de estimación de la DBO y otros parámetros de calidad del agua (Abyaneh, 2014; Emamgholizadeh et al., 2014). Es por ello que este estudio tiene como principales objetivos: (a) elaborar cinco modelos neuronales de DBO con distinto número de neuronas; (b) calcular sus respectivos

desempeños predictivos por medio de un indicador estadístico; y (c) establecer el modelo más adecuado a través de la comparación de los valores de este indicador.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en aguas marinas del Departamento de Bolívar (Colombia). La recolección de las muestras de agua fue realizada por la *Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (CARDIQUE)*, en 32 estaciones de monitoreo. Estas estaciones se encuentran localizadas entre el corregimiento de Galezamba, al norte de Bolívar (10°47'20.19"N 75°15'50.74"W), y la desembocadura del Caño Correa, al sur de la costa de este departamento (10°3'28.52"N 75°27'27.03"W).—La ubicación de las estaciones de calidad del agua puede consultarse en CARDIQUE (2017) e IN-VEVAR (2017).—

Estimación experimental de las variables

Los parámetros fisicoquímicos usados en esta investigación (sólidos suspendidos totales, salinidad, pH, oxígeno disuelto, y DBO) fueron registrados por CARDIQUE, entre los años 2011 y 2014. La estimación experimental de éstos se hizo de acuerdo a la Edición 22 de la guía *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* siguiendo el protocolo 4500-O-G método del electrodo de membrana para el oxígeno disuelto; el protocolo 4500-H-B Método electrométrico para el potencial de hidrógeno; el protocolo 2520-B Método de conductividad eléctrica para la salinidad; el protocolo 2540-D para los sólidos suspendidos totales; y los protocolos 5210-B Prueba de DBO 5-días y 4500-O-G, para la DBO (APHA, 2005). Un total de 345 registros de cada parámetro fueron utilizados para la elaboración del modelo.

Elaboración del modelo neuronal de DBO.

El modelo neuronal para la predicción de la demanda bioquímica de oxígeno, se elaboró a partir de una red tipo Perceptrón Multicapa (PMC) (ver Anexo y Araghinejad (2014)). En este, se usó la DBO como variable de salida, mientras que el oxígeno disuelto (OD), el potencial de hidrógeno (pH), la salinidad (Sal), los sólidos suspendidos totales (SST), y las coordenadas geográficas de cada estación de monitoreo (Lat—Long), se usaron como entradas (Figura 1). La selección de estos parámetros se hizo con base en su influencia sobre el proceso de demanda bioquímica de oxígeno y teniendo en cuenta la frecuencia con que han sido usados en estudios previos (Šiljić et al., 2016; Meza, 2019).

Por su parte, el código para el entrenamiento del PMC se elaboró a partir del modelo desarrollado por González et al. (2012). En este, el PMC es entrenado por medio del *número de capas ocultas y el número de neuronas ocultas*. Además, requiere definir un algoritmo para el entrenamiento de la red (que permite acelerar el proceso de aprendizaje del PMC), un número de *épocas* (la cantidad de veces que el algoritmo de entrenamiento es aplicado al conjunto de datos), un indicador de desempeño (por medio del cual la red ajusta las predicciones a las observaciones), y un método para la partición del conjunto de datos (división aleatoria, por bloques, intervalos, o índices). Este código se encuentra escrito en el lenguaje de programación "M" y en él se hizo uso de las herramientas disponibles en el "Neural Network Toolbox" del software MATLAB® (Beale et al., 2015; Meza, 2019).

En la Tabla 1 se presentan los 5 modelos (o arquitecturas) del perceptrón que fueron usados en la investigación. Estos modelos constan de entre 2 a 3 capas ocultas, y desde 5 hasta 20

neuronas ocultas por capa. En cada modelo, el número de neuronas de la capa de entrada (6 neuronas), correspondió al número de variables usadas como entradas. Para su entrenamiento, se usó un número de 100 épocas y la *suma de los errores cuadráticos* (SSE) como indicador de desempeño. (La función de este último indicador estadístico es distinta a la del indicador usado para validar los resultados del modelo. Para ello véase el anexo al final del artículo).

Los modelos fueron evaluados por medio del algoritmo de Levenberg-Marquardt (ver anexo), el cual, según Zayani et al. (2008), Mustafa et al. (2012), Ebtehaj & Bonakdari (2016), y Meza (2019), posee un desempeño predictivo superior al de otras metodologías de entrenamiento del PMC y, de acuerdo con Singh et al. (2009) y Meza (2019), es el algoritmo más adecuado para hacer estimaciones de la DBO.

Tabla 1. Modelos del Perceptrón multicapa usados en el estudio.

Modelo	Número de neuronas ocultas		
	Primera capa	Segunda capa	Tercera capa
Modelo 1	5	5	5
Modelo 2	10	10	10
Modelo 3	20	20	20
Modelo 4	20	10	5
Modelo 5	20	10	—

Fuente: Autores

Por su parte, el método usado para dividir el conjunto de datos fue de tipo aleatorio (*dividerand*). Este último divide el conjunto de observaciones en cuatro subconjuntos (llamados

entrenamiento, validación, prueba, y todos los datos) y asigna aleatoriamente a cada uno de ellos un porcentaje del total de datos (70%, 15%, 15%, y 100%, respectivamente).

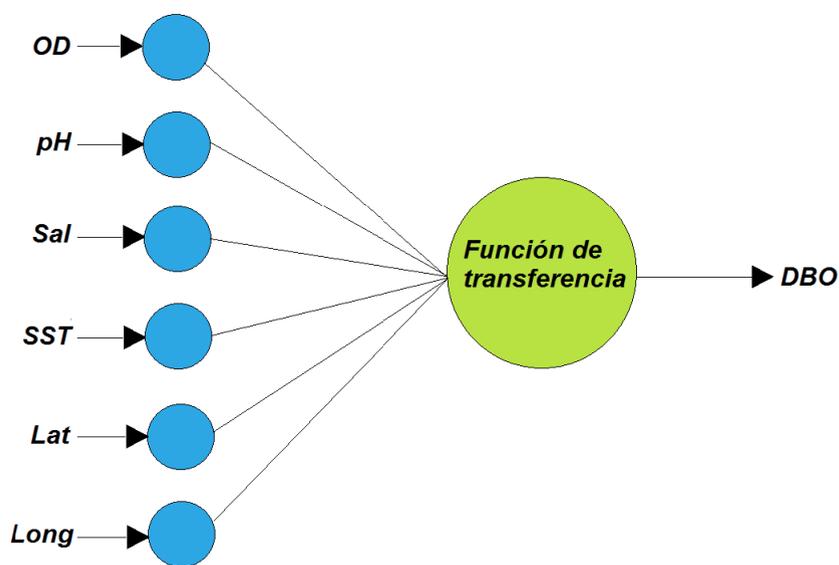


Figura 1. Representación conceptual de la neurona artificial utilizada en el estudio.

Fuente: Meza (2019).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para poder comprobar la efectividad de cada modelo como método de estimación de la DBO, fue necesario aplicar un indicador estadístico al final de las distintas etapas del aprendizaje. Una de las pruebas estadísticas que se usan comúnmente en la evaluación del desempeño de las redes neuronales artificiales es el *coeficiente de correlación (R)*:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n \sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sum (X_i - \bar{X})^2 (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

En la ecuación anterior, n es el número total de observaciones; X_i y Y_i son los valores observados y estimados, respectivamente. \bar{X} e \bar{Y} son los valores promedio de todas las observaciones X y estimaciones Y (Abyaneh, 2014). Un R igual a 1, indica un ajuste perfecto entre los resultados del modelo y los valores de DBO observados. Mientras que un R igual a cero, o negativo describe una correlación nula entre la predicción y la observación de la DBO (Gulyani et al., 2015).

Este indicador de desempeño se encuentra incluido en los códigos del PMC y sus valores fueron calculados de manera automática luego del entrenamiento. Además, fue usado como criterio de comparación de las distintas arquitecturas de la red. El modelo con el cual se obtuvieron los valores más altos del coeficiente de correlación (calculados de manera simultánea para las cuatro fases del aprendizaje), fue elegido como el más adecuado para hacer estimaciones de la DBO.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 puede verse que la red Perceptrón multicapa, entrenada con el algoritmo de Levenberg-Marquardt, presentó valores del coeficiente de correlación entre 0,716 y 0,953. Sus cifras más bajas de R fueron calculadas en el modelo 1 (0,830 entrenamiento, 0,716 validación, y 0,806 todos), y el modelo 2 (0,775 prueba), mientras que los valores más altos se calcularon para todas las etapas de aprendizaje del modelo 4 (0,916, 0,907, 0,927, y 0,914), y el modelo 3 (0,937, 0,951, 0,953, y 0,941). Debido a que este último obtuvo los R más altos de todas las simulaciones (en todas sus fases de aprendizaje y simultáneamente), fue seleccionado como el modelo más adecuado para calcular la demanda bioquímica de oxígeno.

En la tabla puede verse también que los valores de R se incrementaron gradualmente con el aumento en el número de neuronas ocultas (lo cual indicaría una posible influencia de la complejidad de la red sobre el desempeño predictivo de la misma); sin embargo, este comportamiento no se observó durante la fase de prueba posiblemente por el uso de la división aleatoria del conjunto de datos (Águila-Martínez, 2017)

Pese a estos óptimos resultados, debe tenerse en cuenta que el número de neuronas y capas ocultas no guarda relación con la DBO pues, para realizar sus cálculos, los modelos neuronales no utilizan ecuaciones que describan el proceso de demanda bioquímica de oxígeno (Emamgholizadeh et al., 2014). En este tipo de modelos, las neuronas solo representan un segmento de la función matemática que la red construye a partir del conjunto de observaciones.

Tabla 2. Valores de R para el algoritmo de Levenberg-Marquardt

Algoritmo de Levenberg-Marquardt					
Modelo	Arquitectura	R entrenamiento	R validación	R prueba	R todos
1	5-5-5	0,830	0,716	0,805	0,806
2	10-10-10	0,861	0,825	0,775	0,845
3	20-20-20	0,937	0,951	0,953	0,941
4	20-10-5	0,916	0,907	0,927	0,914
5	20-10	0,863	0,884	0,916	0,874

Fuente: Autores

4. CONCLUSIONES

Se demostró que los modelos elaborados con redes neuronales artificiales se pueden usar para la estimación de la DBO en aguas marinas. La red neuronal utilizada en el diseño de estos modelos (el Perceptrón multicapa), alcanzó un alto desempeño al ser entrenada con el algoritmo de Levenberg-Marquardt ($R > 0,9$). Al utilizar este último, en conjunto con 60 neuronas y tres capas ocultas, se obtuvieron los desempeños más altos del estudio.

A fin de dar mayor validez a los resultados obtenidos en este estudio, se recomienda llevar a cabo investigaciones en otras regiones costeras de Colombia, así como utilizar el modelo en situaciones reales (en el cálculo de datos faltantes de DBO, por ejemplo). También se sugiere que se utilicen bases de datos de mayor tamaño en el desarrollo de nuevos modelos, pues esto permite mejorar el desempeño predictivo de las RNA.

En la actualidad, las redes neuronales artificiales poseen un amplio campo de investigación y desarrollo. Este es otro motivo para seguir realizando estudios sobre modelación neuronal de la demanda bioquímica de oxígeno. A futuro se espera que se puedan usar los modelos neuronales de DBO en tiempo real, y que su uso llegue a ser una alternativa a los métodos convencionales de estimación de la DBO.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer autor: Metodología, investigación, análisis de datos, escritura-borrador original.

Segundo autor: Metodología, supervisión, análisis de datos, escritura-revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

A la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique-CARDIQUE por suministrar los datos para la realización de esta investigación. Este artículo se encuentra basado en los resultados de la tesis de maestría de uno de los autores.

LITERATURA CITADA

Abyaneh, H. (2014). Evaluation of multivariate linear regression and artificial neural networks in prediction of water quality parameters. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 12(40), 1-8. <https://doi.org/10.1186/2052-336X-12-40>

Águila-Martínez, J. (2017). Aprendizaje supervisado en conjuntos de datos no balanceados con Redes Neuronales Artificiales. Métodos de mejora de rendimiento para modelos de clasificación binaria en diagnóstico médico. Universitat Rovira i Virgili.

American Public Health Association (APHA). (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (21st ed.). Washington, DC: American Public Health Association (APHA).

Araghinejad, S. (2014). Artificial Neural Networks. In *Data-Driven Modeling: Using MATLAB® in Water Resources and Environmental Engineering*.

- Water Science and Technology Library*, 67. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7506-0>
- Barthakur, M., Thakuria, T., y Sarma, K. K. (2012). Artificial Neural Network (ANN) Based Object Recognition Using Multiple Feature Sets. *Soft Computing Techniques in Vision Science*, (395), 127-135. https://doi.org/10.1007/978-3-642-25507-6_11
- Beale, M. H., Hagan, M. T., y Demuth, H. B. (2015). *Neural Network Toolbox User's Guide*. MathWorks, (R2015b), pp. 1-410.
- Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (CARDIQUE). (2017). Evaluación de la calidad de las aguas en la Ciénaga de la Virgen. Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique-CARDIQUE.
- Dogan, E., Ates, A., Yilmaz, E. C., y Eren, B. (2014). Application of Artificial Neural Networks to Estimate Wastewater Treatment Plant Inlet Biochemical Oxygen Demand. *Environmental Science & Technology*, 33(2), 482-489.
- Ebtehaj, I., & Bonakdari, H. (2016). Bed load sediment transport estimation in a clean pipe using multilayer perceptron with different training algorithms. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(2), pp. 581-589. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0630-7>
- Emamgholizadeh, S., Kashi, H., Marofpoor, I., y Zalaghi, E. (2014). Prediction of water quality parameters of Karoon River (Iran) by artificial intelligence-based models. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(3), 645-656. <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0378-x>
- Gandaseca, S., Liyana, N., Wahab, A., Mustapha, A., y Pazi, M. (2016). Comparison of Water Quality Status of Disturbed and Undisturbed Mangrove Forest at Awat-Awat Lawas Sarawak. *Open Journal of Forestry*, 6, 14-18. <https://doi.org/10.4236/ojf.2016.61002>
- González Salcedo, L. O., Guerrero Zúñiga, A. P., Delvasto Arjona, S., y Ernesto Will, A. L. (2012). Exploración con redes neuronales artificiales para estimar la resistencia a la compresión, en concretos fibroreforzados con acero. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 22(1), 19-41. <https://doi.org/10.18359/rcin.247>
- Gulyani, B. B., Mangai, J. A., y Fathima, A. (2015). An Approach for Predicting River Water Quality Using Data Mining Technique. Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 9165, pp. 233-243. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20910-4_17
- Howington, J. P., McFeters, G. A., Jones, W. L., y Smith, J. J. (1994). The effect of low temperature on BOD in Antarctic seawater. *Water Resources*, 28(12), 2585-2587. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(94\)90078-7](https://doi.org/10.1016/0043-1354(94)90078-7)
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR). (2016). Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros de Colombia. Año 2015.
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR). (2017). Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras en el Caribe y Pacífico Colombianos. Informe Técnico 2016.
- Matos, M. P. de, Borges, A. C., Matos, A. T. de, Silva, E. F. da y Martinez, M. A. (2014). Effect of time-temperature binomial in obtaining biochemical oxygen demand of different wastewaters. *Engenharia Agrícola*, 34(2), 332-340. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000200014>
- Meza, R. (2019). Elaboración y uso de un modelo neuronal para la estimación de la DBO5. Caso de estudio: Costa Caribe del Departamento de Bolívar (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Mustafa, M. R., Rezaur, R. B., Saiedi, S., y Isa, M. H. (2012). River suspended sediment prediction using various multilayer perceptron neural network training algorithms-A case study in Malaysia. *Water Resources Management*, 26(7), 1879-1897. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-9992-5>
- Muthukumar, S., y Baskaran, K. (2013). Organic and nutrient reduction in a fish processing facility - A case study. *International Biodegradation and Biodegradation*, 85, 563-570. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.03.023>
- Naipally, A., y Rosselot, K. S. (2014). Water and Wastewater. In *Environmental engineering: Review for the professional engineering examination*. pp. 1-61. https://doi.org/10.1007/978-0-387-49930-7_1
- Palani, S., Liang, S. Y., y Tklich, P. (2008). An ANN application for water quality forecasting. *Marine Pollution Bulletin*, 56(9), 1586-1597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.05.021>
- Phu, S. T. P. (2014). Research on the Correlation Between Chlorophyll-a and Organic Matter BOD, COD, Phosphorus, and Total Nitrogen in

- Stagnant Lake Basins. In Sustainable Living with Environmental Risks, pp. 177-191. https://doi.org/10.1007/978-4-431-54804-1_15
- Raoufy, M. R., Eftekhari, P., Gharibzadeh, S., y Masjedi, M. R. (2011). Predicting arterial blood gas values from venous samples in patients with acute exacerbation chronic obstructive pulmonary disease using artificial neural network. *Journal of Medical Systems*, 35(4), 483-488. <https://doi.org/10.1007/s10916-009-9384-4>
- Severiche, C. A., Baldiris, I., Acosta, J. C., Bedoya, E. A., Castro, I., y Pacheco, H. (2017). Multivariate Analysis of Water Quality in Rosario Islands National Park (Colombia). *American Journal of Engineering Research*, 6(6), 136-144.
- Šiljić, A., Antanasijević, D., Perić-Grujić, A., Ristić, M., y Pocajt, V. (2016). Artificial neural network modelling of biological oxygen demand in rivers at the national level with input selection based on Monte Carlo simulations. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(4), 3978-3979. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5978-1>
- Simon, F. X., Penru, Y., Guastalli, A. R., Llorens, J., & Baig, S. (2011). Improvement of the analysis of the biochemical oxygen demand (BOD) of Mediterranean seawater by seeding control. *Talanta*, 85(1), 527-532. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2011.04.032>
- Singh, K. P., Basant, A., Malik, A., & Jain, G. (2009). Artificial neural network modeling of the river water quality-A case study. *Ecological Modelling*, 220, 888-895. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.01.004>
- Tachibana, K., Urano, Y., & Numata, K. (2013). Biodegradability of nylon 4 film in a marine environment. *Polymer Degradation and Stability Journal*, 98, 1847-1851. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.05.007>
- Tomenko, V., Ahmed, S., & Popov, V. (2007). Modelling constructed wetland treatment system performance. *Ecological Modelling*, 205, 355-364. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.02.030>
- Tuchkovenko, Y. S., & Lonin, S. A. (2003). Mathematical model of the oxygen regime of Cartagena Bay. *Ecological Modelling*, 165(1), 91-106. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(03\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(03)00064-4)
- Zayani, R., Bouallegue, R., & Roviras, D. (2008). Adaptive predistortions based on neural networks associated with Levenberg-Marquardt algorithm for satellite down links. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, 2008(132729), 1-15. <https://doi.org/10.1155/2008/132729>

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.

PROCEDIMIENTO GUÍA PARA MANEJO SEGURO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS EN UNA EMPRESA DE FABRICACIÓN DE SUELAS Y PLANTILLAS A BASE DE POLIURETANO DE LA CIUDAD DE CALI - COLOMBIA

PROCEDURE GUIDE FOR THE SAFE HANDLING OF CHEMICALS
IN A SOLE AND INSOLE MANUFACTURING COMPANY
A POLYURETHANE BASE FROM THE CITY OF CALI - COLOMBIA

¹Luis Alberto Vallejo Morán, ²Johanna Dominguez Orejuela,
³Iván Darío López Villalobos, ⁴Claudia Asceneth Castañeda Sanchez

¹ Magister en Salud Ocupacional, Universidad Libre, Profesor Institución universitaria
Antonio José Camacho, Santiago de Cali, Colombia

² Profesional en Salud Ocupacional, Institución Universitaria Antonio José Camacho, Santiago Cali Colombia

³ Magister en Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Profesor Institución
universitaria Antonio José Camacho, Santiago de Cali, Colombia

⁴ Magister en Educación del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey,
Profesor Institución universitaria Antonio José Camacho, Santiago de Cali, Colombia

¹lvallejo@admonuniajc.edu.co; ³idariolopez@admon.uniajc.edu.co;

⁴ccastaneda@admon.uniajc.edu.co

RESUMEN

Contextualización: para el manejo seguro de sustancias químicas, se identificaron las debilidades de la empresa objeto de estudio, en el manejo, uso, almacenamiento y transporte interno de sustancias químicas.

Vacío de conocimiento: este método contribuye como insumo para la gestión de sustancias que pueden dar lugar a posibles intoxicaciones por absorción e inhalación a trabajadores.

Propósito del estudio: el objetivo de este estudio es diseñar un procedimiento para manejo seguro de sustancias químicas en una empresa de fabricación de suelas y plantillas a base de poliuretano, lo que contribuirá a prevenir accidentes de trabajo y enfermedades laborales en los trabajadores de la empresa objeto de estudio; con un enfoque cuantitativo descriptivo observacional de corte transversal.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.3461>

Metodología: la investigación se realizó en una fábrica de suelas y plantillas a base de poliuretano de la ciudad de Cali (Colombia), y se incluyeron 33 trabajadores de los principales procesos productivos con exposición a sustancias químicas; se aplicó una encuesta para identificar el nivel de conocimiento de los empleados con respecto a las sustancias manejadas; se diseñó un cuestionario con base en normatividad colombiana, aplicándose el método simplificado para la evaluación del riesgo químico del instituto francés (INRS).

Resultados y conclusiones: según la tabla de determinación de riesgo, el análisis arrojó un resultado crítico para seis de las diez sustancias evaluadas. Se identificaron diez sustancias químicas consideradas peligrosas, cuatro de estas clasificadas como grupo A2, sospechosas de provocar cáncer, además de ser sustancias tóxicas y nocivas para la salud y el medio ambiente. Se evidenció la ausencia de un procedimiento para el desarrollo de tareas críticas como lo es, el llenado de tanques, pintura e inyección, así como la falta de un programa de vigilancia epidemiológica para el monitoreo del personal con mayor exposición. Finalmente, se diseñó el procedimiento guía para manejo seguro de sustancias químicas y un plan de acción para implementación. La peligrosidad de algunas sustancias químicas a base de poliuretano utilizadas es alta, tanto que la agencia de Servicio de Salud Pública, la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de EE.UU, cataloga a los isocianatos (TDI y MDI) como sustancias químicas muy reactivas.

Palabras clave: evaluación; peligro; riesgo químico; sustancia cancerígena; sustancias químicas.

ABSTRACT

Contextualization: For the safe handling of chemical substances, weaknesses of the company under study were identified, in terms of management, use, storage and internal transportation of chemical substances.

knowledge gap: This method contributes as an input to the substance management knowledge in relation to possible poisoning by absorption and inhalation by workers.

Purpose: The main aim of this study was to design a procedure for the safe handling of chemical substances in a company that manufactures polyurethane-based soles and insoles, helping to prevent workplace accidents and occupational diseases on workers at the company under study, with a cross-sectional descriptive, observational and quantitative approach.

Methodology: The study was carried out in a factory of soles and insoles based on polyurethane in Cali (Colombia) with 33 workers from the main production processes, who are exposed to chemical substances. A survey was applied to identify the knowledge level of employees regarding to the substance management. A questionnaire was designed, based on Colombian regulations, applying the simplified method for chemical risk assessment of the French Institute - INRS.

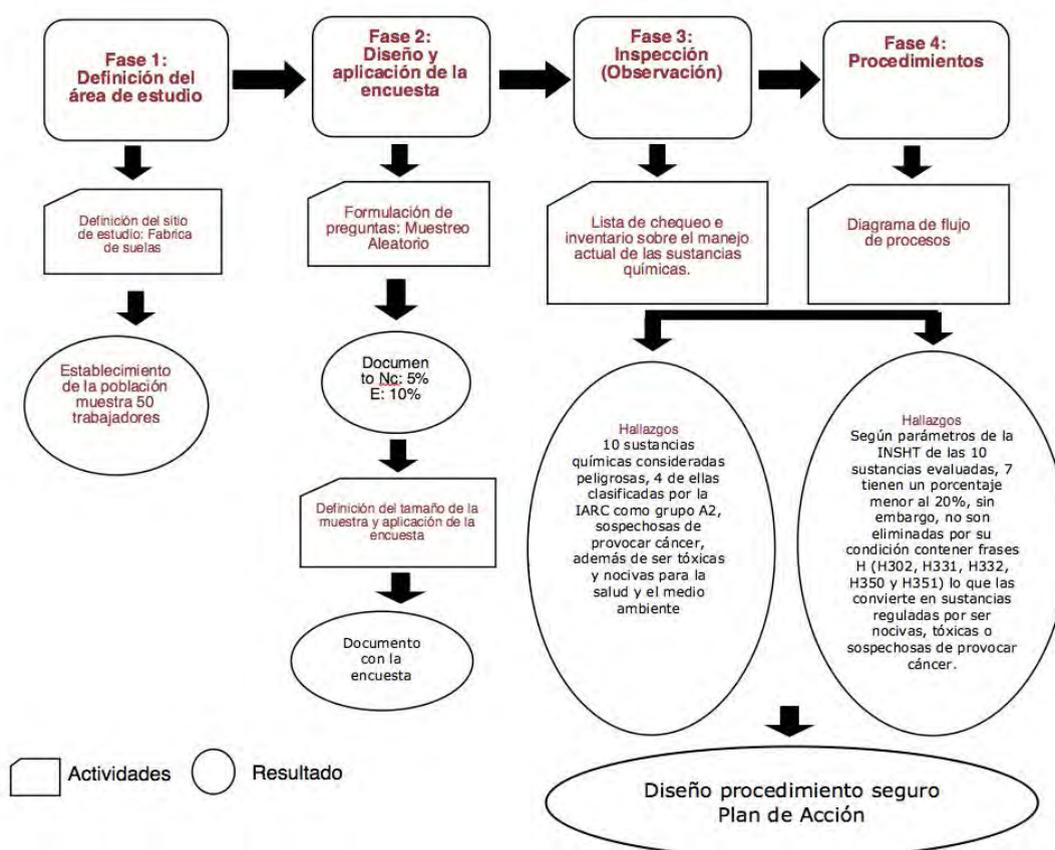
Results and conclusions: The analysis, according to the risk determination table, produced a critical result for six out of ten evaluated substances. Ten chemicals considered dangerous were identified and four of them were classified as group A2, suspected of causing cancer, being considered as toxic and harmful substances to health and environment. The absence of a procedure for the development of critical tasks such as filling tanks, painting and injection was evident,

as well as the lack of an epidemiological surveillance program to monitor personnel with greater exposure. Finally, a procedure guide for the safe handling of chemical substances and an action plan for implementation were designed. The dangerousness of some chemical substances used based on polyurethane is high, so much so that

the agency of Public Health Service, the Agency for Toxic Substances and the Registry of Diseases of the USA, lists isocyanates (TDI and MDI) as highly reactive chemicals.

Keywords: evaluation; danger; chemical risk; carcinogenic substance; chemical substances.

RESUMEN GRÁFICO



1. INTRODUCCIÓN

Los procesos realizados en la fabricación de suelas y plantillas para la industria del calzado involucran el uso de sustancias químicas peligrosas que pueden generar accidentes o enfermedades laborales. Según información del Consejo Colombiano de Seguridad CIS-PROQUIM, durante el primer semestre del 2011, se recibieron 4492 reportes de emergencia, con un aumento del 13%, con respecto al mismo periodo del año 2010, en el que

se reportaron 3974 casos. El Ministerio de la Protección Social de Colombia a través del Instituto Nacional de Cancerología, desarrolla desde el año 2013 el proyecto "Sistema de Vigilancia Epidemiológica del Cáncer Ocupacional" (SIVECAO) debido al problema de salud pública a nivel mundial del cual no es ajeno Colombia (Francelly Sánchez, 2014; Anaya Orbis, 2015; Calera A, 2005; OIT, 2014; Semarnat, 2010).

En Colombia, el Decreto Único Reglamentario del sector trabajo 1072 de 2015, en su artículo 2.2.4.6.15, indica que, en la "Identificación de peligros, evaluación y valoración de los riesgos" Parágrafo 2, y según la naturaleza de los peligros, el empleador utilizará metodologías adicionales para complementar la evaluación de los riesgos en seguridad y salud en el trabajo ante peligros de origen químico (Ministerio de Trabajo, 2015; MAVDT, 2005). Más aun, cuando en el proceso productivo se involucran agentes potencialmente cancerígenos o de toxicidad aguda, se debe priorizar su intervención independientemente de sus dosis y el nivel de exposición (Anaya Orbis, 2015).

En la empresa objeto de este estudio, para el año 2017, se presentaron 13 accidentes de trabajo de los cuales 6 ocurrieron por causa del manejo inadecuado de sustancias químicas. Es por esta razón que esta investigación tiene como objetivo principal el diseño de un procedimiento guía para el manejo seguro de sustancias químicas en una empresa de fabricación de suelas y plantillas a base de poliuretano de la ciudad de Cali, Valle, en el 2018.

Inicialmente se realizó un diagnóstico y evaluación del riesgo químico por medio de la aplicación de una encuesta, lista de chequeo, inspecciones y la evaluación para la valoración del riesgo químico por inhalación o contacto con piel, metodología Simplificada propuesta por la INRS (Fasecolda, 2011).

Después se diseñó el Procedimiento para el manejo seguro de sustancias químicas dirigido, en principio, al conocimiento y valoración del riesgo, y luego a ofrecerle a la empresa una herramienta para intervenir el peligro químico, apoyo al cumplimiento de las normas y para el manejo seguro de sustancias químicas (Congreso de la República, 1993; Rodríguez S, 2008; Río, 2011). Finalmente se socializó el

plan de acción del procedimiento guía para el manejo seguro de sustancias químicas en la empresa de fabricación de suelas y plantillas a base de poliuretano de la ciudad de Cali, Valle, 2018. Los objetivos planteados en este trabajo permitieron a la empresa reconocer la importancia de gestionar este peligro, además de controlar y prevenir los accidentes de trabajo derivados del manejo de sustancias químicas o futuras enfermedades laborales ocasionadas por la manipulación de estas (Granada Aguirre, et al., 2019).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio cuantitativo, descriptivo y observacional de corte transversal, en una fábrica de Suelas y Plantillas a base de Poliuretano en la ciudad Santiago de Cali. La población objeto de estudio fueron 50 trabajadores que intervienen en las labores de manejo, uso, almacenamiento, transporte interno y disposición final de las sustancias químicas o sus desechos, excluyéndose a los trabajadores del área administrativa, quienes no están en contacto con las sustancias químicas empleadas para el desarrollo de la labor.

Análisis estadístico

Se empleó un muestreo aleatorio simple de 33 trabajadores, con un margen de error del 10% y un nivel de confianza del 95%. Se diseñó una encuesta basada en las características socio-demográficas y del grado de conocimiento del manejo de las sustancias químicas, que permitió identificar el cumplimiento de la normatividad colombiana en cuanto al riesgo químico (Alonso, 2014; Patiño Flores, 2017).

Adicionalmente, se realizó una inspección de observación en la que se tomaron registros fotográficos. Este diagnóstico aporta a la empresa un panorama sobre el manejo actual de las sustancias químicas y un procedimiento y plan de acción para la implementación según

lo establece Naciones Unidas (2015) y como lo realizó Gisbert (2018).

Para determinar el grado de conocimiento del personal, se realizó una encuesta a 33 operarios de la empresa objeto de estudio con respecto a las sustancias químicas manejadas en la empresa, que se muestran en el Anexo 1. Se evaluaron las variables de la encuesta mediante estadística descriptiva, mostrando rangos, frecuencias, máximos y mínimos, en el caso de variables categóricas. Las relaciones entre variables se mostraron mediante

graficas circulares, utilizando los programas estadísticos IBM SPSS versión 22 y R versión 3.6.1.

Se aplicó una lista de chequeo de 30 preguntas, que se muestra en el Anexo 2, en la que se evaluó el cumplimiento de aspectos generales, condiciones de manejo, uso, almacenamiento y disposición final de las sustancias químicas utilizadas en la empresa, con base en la normatividad colombiana vigente. La calificación se realizó con base en los parámetros que se muestran la Figura 1.

CUMPLE (1)	NO CUMPLE (0)	RESULTADO (Valoración de puntos de cumplimiento)	22 – 30 Puntos	Aceptable
			15 – 21 Puntos	Aceptable con control específico
			Menos de 14 Puntos	No aceptable

Figura 1. Parámetros de Calificación de la Encuesta.

Fuente: Autores

Se realizó un inventario de sustancias químicas acorde a Negrete (2014), que cuenta con información de la Composición, # Cas, TLV, Frases R y H, Efectos de la exposición, Toxicología, Efectos cancerígenos, mutagénicos y a la reproducción, Inflamabilidad y Reactividad de la sustancia, y pictogramas de peligro de acuerdo al SGA según Naciones unidas (2015). De igual manera, se aplicó el método para la

evaluación por exposición a riesgo químico del (Institut National de Recherche et de Sécurité -INRS) Instituto Nacional de Investigación y Seguridad para la Prevención de Accidentes de Trabajo y Enfermedades Profesionales. La aplicación del método fue evaluada de acuerdo a los parámetros dados por este como se ve en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización del riesgo por inhalación / contacto con la piel.

Puntuación de riesgo	Prioridad de acción	Caracterización del riesgo Inhalación = Peligro x Volatilidad x Procedimiento x Protección colectiva
		Contacto con la piel = Peligro x Superficie x Frecuencia
> 1.000	1	Riesgo probable muy elevado (medidas correctivas inmediatas)
100 - 1.000	2	Riesgo moderado. Es probable que necesite medidas correctivas y una evaluación más detallada
< 100	3	Riesgo a priori bajo (Sin necesidad de modificaciones)

Fuente: Instituto nacional de higiene y seguridad en el trabajo (2012)

Proceso de Fabricación de Suelas y Plantillas

Como se muestra en la Figura 2, el proceso inicia con la inyección de las suelas. El líder de turno, junto con cinco operarios más, están encargados de sacar la producción de suela o plantillas según se requieran. Una de las seis personas deberá abastecer la máquina con las materias primas (*isocianato, catalizador y polioliol*). Uno de los operarios es el encargado de realizar los cambios de moldes durante todo el turno, mientras los cuatro realizan las operaciones de inyección, aplicación de desmoldante y retirar las suelas. Ya estando la suela lista para pasar al refilado, hay una persona encargada de la calidad de las suelas, quien verifica la forma, el color y el acabado de las mismas. La suela que no cumpla con las especificaciones deberá ser nuevamente inyectada.

Posteriormente, se pasa al proceso de Refilado, en el que se quitan los sobrantes de material, se realiza una verificación de la cantidad que debe estar y se acomoda por bloques cada una de las órdenes que se deben pasar al siguiente proceso. Durante el lavado, se realiza la limpieza de la suela desmoldante, la cual fue usada en la inyección, además de otras impurezas que trae el producto. Esta actividad se

hace con ayuda de una mezcla entre perclo-roetileno con agua en una lavadora industrial.

El siguiente proceso es el de pintura. Según sea necesario, las suelas pasan al área de pintura, donde 2 operarios abastecen las bandas transportadoras que llevan el producto terminado a las 3 cabinas de pinturas donde los operarios con pistolas rociadoras, las pintan y las vuelven a poner en la banda para ser transportadas el siguiente proceso. En el proceso de empaque, las suelas se organizan según orden de pedido y por último llegan al área de despachos, donde finaliza el proceso de producción de las suelas. Seguidamente, el proceso de aplicación de desmoldante se inicia al momento que el operario esparce la sustancia en el molde hasta el paso a la siguiente estación. A partir de allí, se inicia el Proceso de inyección, actividad que empieza con la primera acción del cabezal, y el derrame de sustancia sobre el molde, y termina al momento en que se detiene el derramado y se cierra la estación. Finalmente, el proceso de curado, realizado dentro del molde. se inicia al instante que el operario oprime el botón que da el cierre hermético y finaliza al momento que este molde realiza su apertura.

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS DE FABRICACIÓN

NOMBRE DEL PROCESO	Proceso de Fabricación de Suelas y Plantillas de Poliuretano
PRODUCTO	Suelas y Plantillas
SE INICIA EN	Recibo de orden de Producción
SE TERMINA EN	Despacho

ACTIVIDAD		
	Operación	10
	Transporte	6
	Demora	-
	Inspección	3
	Almacenamiento	-

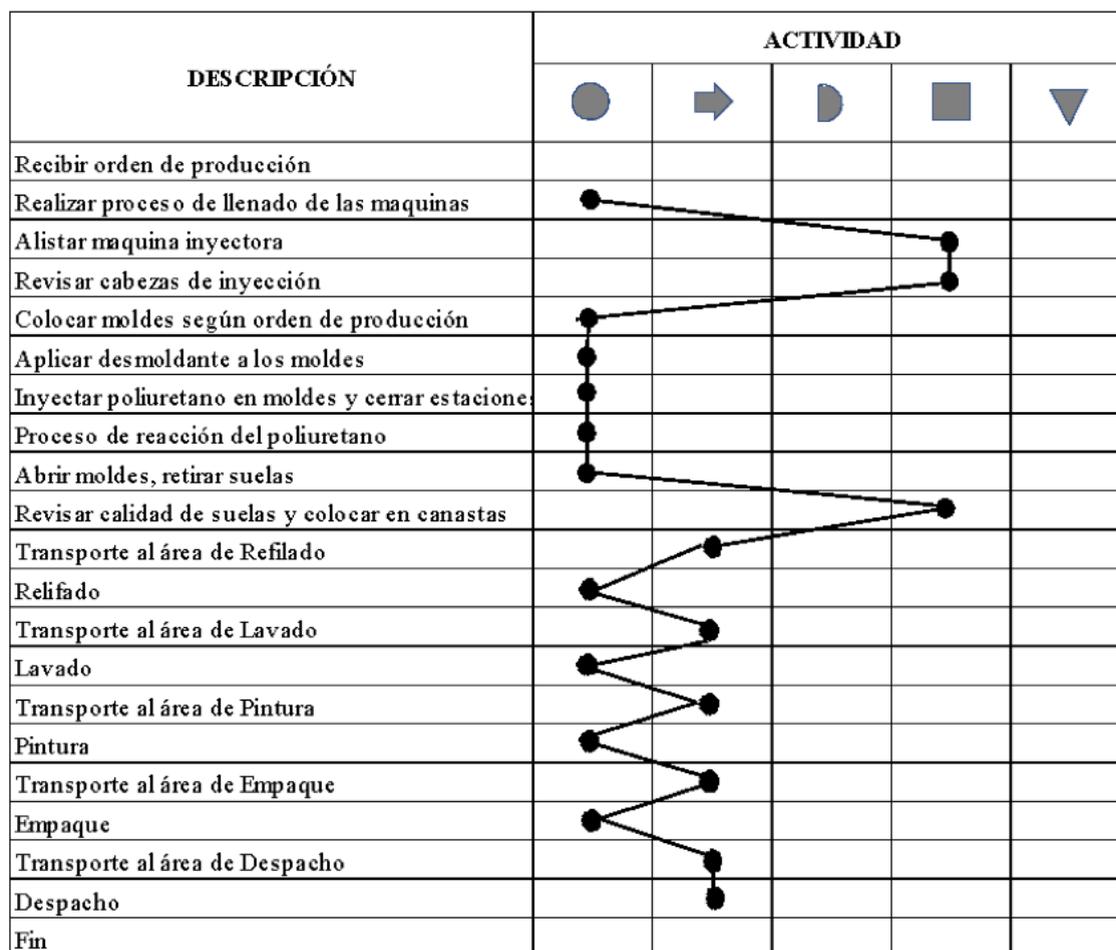


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de Inyección.

Fuente: Autores

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La población participante en esta investigación correspondió a 23 hombres y 10 mujeres, el 51.5% entre 18 y 32 años, y el 57.6% con nivel académico de primaria (Figura 3, Recuadro A). El 21.2% se desempeñaban como empaques (Figura 3, recuadro B). La contratación del personal en su mayoría (81.8%) correspondía

a contrato indefinido y con un ingreso económico correspondiente a 1 salario mínimo legal vigente (Figura 3, recuadro C). Se encontró que la no identificación del riesgo (21%), y la falta de capacitación (42%), estaba presente en cargos relacionados con actividades de logística (Figura 3, recuadro D).

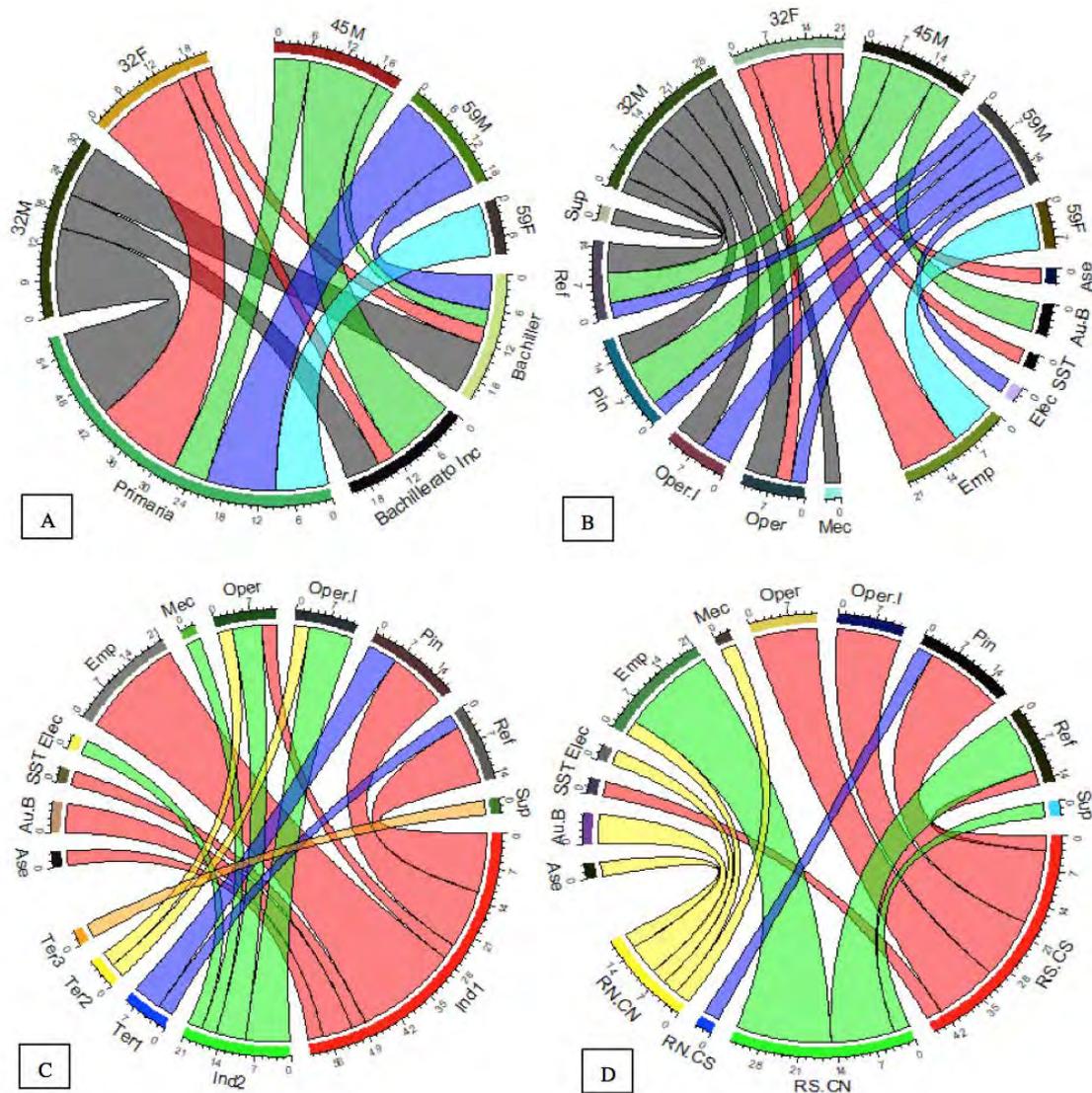


Figura 3. Graficas Circulares relacionadas con el estudio sociodemográfico.

Fuente: Autores

En la Figura 3 se observa la composición etaria, nivel académico, ingreso salarial (SMLMV), actividad desempeñada, tipo de contrato, conocimiento del riesgo y capacitación. En la parte superior de los recuadros A y B se observa el rango etario 32: 18 a 32 años, 45: 33 a 45 años y 59: 46 a 59 años. Las letras continuas corresponden a F: femenino y M: masculino. En el recuadro A, en el semicírculo inferior se observa la formación académica, Primaria, Bachiller: bachillerato completo y Bachillerato Inc: Bachillerato incompleto. En el recuadro B en la

parte inferior se describen los cargos: Asea: Aseadora; Au.B: Auxiliar de Bodega; SST: Coordinador de SST; Elec: Eléctrico; Emp: Empacadora; Mec: Mecánico; Oper: Operario de lavado; Oper.I: Operario de maquina inyectora; Pin: Pintor; Ref: Refilador; y Sup: Supervisor. Estas clases se observan en la parte superior de los recuadros B y C. En la parte inferior de recuadro C, Ter: contrato termino fijo y Ind: contrato indefinido; los números continuos corresponden al número de salarios mínimos legales vigentes que reciben como ingreso; y en

el recuadro D, RS.CS: Reconoce el riesgo y ha recibido capacitación, RS.CN: Reconoce el riesgo y no ha recibido capacitación, RN.CS: no reconoce el riesgo y ha recibido capacitación; y RN.CN: no reconoce el riesgo y no ha recibido capacitación. Adicionalmente los colores de las bandas corresponden al porcentaje compartido entre las variables evaluadas.

La encuesta realizada al personal operativo

(pintores, refileadores, auxiliares de bodega, operarios de lavado, operarios de máquinas) refleja, según se muestra en la Tabla 2, que siete de las quince preguntas realizadas al personal superan el 50% de las respuestas negativas y estas corresponden en su mayor parte a la capacitación y entrega de elementos de protección ya sea individual, colectivos e informativos, labor que es responsabilidad de la empresa objeto de estudio.

Tabla 2. Conocimiento sobre las sustancias químicas empleadas empresa objeto de estudio.

N°	Conocimiento sobre las sustancias químicas empleadas en la empresa	CRITERIO	
		SI	NO
1	¿Sabe usted que sustancias químicas se manejan en la empresa?	79%	21%
2	¿Alguna vez ha recibido por parte de la empresa capacitaciones sobre el manejo, almacenamiento o transporte interno de sustancias químicas?	48%	52%
3	¿Sabe cuáles son los efectos que causan en la salud estas sustancias?	88%	12%
4	Si estuviéramos en el almacén ¿Usted podría identificar los productos químicos almacenados en este?	52%	48%
5	¿Ha recibido capacitaciones sobre primeros auxilios?	58%	42%
6	¿La empresa cuenta con una brigada para la atención de emergencias?	76%	24%
7	¿Conoce usted el procedimiento que debe seguir para la atención de emergencias con alguna sustancia química?	61%	39%
8	¿Sabe utilizar un extintor?	70%	30%
9	¿La empresa les suministra elementos de protección personal?	100%	0%
10	¿Cuentan con duchas lava ojos?	21%	79%
11	¿Existe señalizaciones de peligro en las zonas de trabajo?	12%	88%
12	¿Existe señalizaciones de prohibición dentro de la planta?	12%	88%
13	¿La planta se encuentra demarcada?	36%	64%
14	¿Conoce las hojas de seguridad de las sustancias químicas que se manejan en la empresa?	33%	67%
15	¿Conoce el programa de seguridad de las sustancias químicas que maneja la empresa?	30%	70%

Fuente: Autores

Cumplimiento de la normatividad colombiana respecto al manejo de sustancias químicas en los lugares de trabajo "Aspectos generales, manejo, almacenamiento y manejo ambiental de las sustancias químicas"

La Tabla 3 indica el resultado de la lista de chequeo, la cual fue diseñada con base en las

exigencias de la normatividad colombiana respecto a aspectos generales, manejo, almacenamiento y manejo ambiental de las sustancias químicas. Esta lista de chequeo fue aplicada al profesional de seguridad y salud en el trabajo de la empresa objeto de estudio y arroja los siguientes resultados.

Tabla 3. Cumplimiento de la normatividad colombiana respecto al manejo de sustancias químicas.

Aspectos Evaluados	Cumple (1)	No Cumple (2)
Aspectos Generales	3	8
Manejo	1	4
Almacenamiento	3	4
Transporte	0	3
Ambiental	0	4
Total	7	23
RESULTADO (Valoración de puntos de cumplimiento)	22 – 30 puntos	Aceptable
	15 – 21	Aceptable con control específico
	Menos de 14 Puntos	No aceptable

Fuente: Autores

En la Tabla 3, se puede observar que de 30 puntos posibles, la empresa objeto de estudio solo cumple con 7 puntos, menos del 24% de las exigencias más importantes, en cuanto al manejo de sustancias químicas en los lugares de trabajo, por esta razón el resultado de la aplicación de esta lista de chequeo es No Aceptable por cumplir con menos de 14 puntos.

Método de evaluación del riesgo químico por inhalación y contacto con piel de la INRS. Criterios de Inclusión y exclusión para la muestra

Las Tablas 4, 5 y 6 muestran los resultados obtenidos en la aplicación del Método de evaluación del riesgo químico por inhalación y contacto con piel de la INRS, aplicados a las 10 sustancias químicas manejadas en la empresa objeto de estudio, para la fabricación de suelas y plantillas a base de poliuretano, el cual arrojó los siguientes resultados.

Tabla 4. Determinación riesgo potencial por químicos.

Nº	Sustancias Químicas	Clase de Peligro	Clase de Cantidad	Clase de Frecuencia de Utilización	Exposición Potencial	Clase de Riesgo Potencial	Clase de Riesgo Potencial (Puntuación)	Prioridad	Índice Parcial Acumulado
1	Compuesto Isocianatos ISN 143	4	4	4	5	5	10000	Alto	31,94
2	Poliol HDR	1	4	4	5	2	10	Baja	0,03
3	Aditivos	1	3	4	4	1	1	Baja	0,00
4	Catalizadores	3	3	4	4	3	100	Media	0,32
5	Desmoldantes	1	2	4	2	1	1	Baja	0,00
6	Percloroetileno	5	3	3	3	5	10000	Alto	31,94
7	Cloruro de Metileno	5	3	3	3	5	10000	Alto	31,94
8	Pinturas o pigmentos	4	3	4	4	4	1000	Media	3,19
9	Diluyentes para pinturas	4	2	1	2	3	100	Media	0,32
10	Removedor	4	2	1	2	3	100	Media	0,32

Fuente: Adaptado de Instituto nacional de higiene y seguridad en el trabajo (2012)

En la tabla se determina el riesgo potencial de cada una de las sustancias químicas manejadas en la empresa, lo que permite otorgarle un nivel de prioridad a cada sustancia, además de un índice parcial acumulado, el cual, determina según la INSHT, el siguiente parámetro de riesgo: Se podrá prescindir de aquellos agentes que en su conjunto aporten menos del 20%, salvo los que estén regulados por una legislación específica.

Teniendo en cuenta el parámetro de la INSHT, de las diez sustancias químicas evaluadas, siete arrojan un porcentaje menor al 20%. Pero estas no son eliminadas por tener la condición de contener frases H como (H302, H331, H332, H350, H351), lo que las convierte en sustancias reguladas por ser nocivas, tóxicas o sospechosas de provocar cáncer.

Tabla 5. Riesgo por Inhalación químicos.

DETERMINACIÓN DE RIESGO POR INHALACIÓN														
N°	Sustancias Química	Clase de Peligro		Clase de Volatilidad o Pulverulencia		Procedimiento		Protección Colectiva		TLV		Riesgo por Inhalación PuntuaciónInhalación = Punt. Peligro x Punt. Volatilidad x Punt. Procedimiento x Punt. Protección Colectiva x Fcvla		
		Clase	Puntuación	Clase	Puntuación	Clase	Puntuación	Clase	Puntuación	VLA mg/m3	FCVLA	Puntuación	Prioridad de acción	Caracterización del riesgo
1	Compuesto Isocianatos ISN 143	4	1000	2	10	3	0,5	3	0,7	0.025	10	35000	1	Riesgo Alto
2	Poliol HDR	1	1	1	1	3	0,5	3	0,7	-	100	35	2	Riesgo Moderado
3	Aditivos	1	1	1	1	3	0,5	3	0,7	-	100	35	2	Riesgo Moderado
4	Catalizadores	3	100	2	10	3	0,5	3	0,7	221	1	350	2	Riesgo Moderado
5	Desmoldantes	1	1	2	10	4	1	3	0,7	400	1	7	3	Riesgo Bajo
6	Percloroetileno	5	10000	2	10	3	0,5	3	0,7	172	1	35000	1	Riesgo Alto
7	Cloruro de Metileno	5	10000	3	100	3	0,5	3	0,7	177	1	350000	1	Riesgo Alto
8	Pinturas o pigmentos	4	1000	2	10	4	1	3	0,7	275	1	7000	1	Riesgo Alto
9	Diluyentes para pinturas	4	1000	2	10	3	0,5	3	0,7	724	1	3500	1	Riesgo Alto
10	Removedor	4	1000	3	100	3	0,5	3	0,7	177	1	35000	1	Riesgo Alto

Fuente: Adaptado de Instituto nacional de higiene y seguridad en el trabajo (2012).

En la tabla 5 se determina el riesgo por inhalación, el cual se halla mediante la multiplicación de las puntuaciones arrojadas por las variables Clase de peligro, Clase de volatilidad, Clase de Procedimiento, Tipo de protección colectiva y el valor de corrección para el

VLA. Esto demuestra un riesgo alto por inhalación para las sustancias Isocianato, Percloroetileno, Cloruro de Metileno, Pinturas, Diluyentes para pinturas y Removedor, todas estas consideradas sustancias nocivas, tóxicas o cancerígenas.

Tabla 6. Riesgo por Contacto químico con la Piel.

DETERMINACIÓN DE RIESGO POR CONTACTO PIEL									
Nº	Sustancias Químicas	Clase de Peligro		Clase de Superficie Expuesta	Frecuencia de Exposición		Riesgo por Contacto Piel = Punt. Peligro x Punt. Superficie x Punt. Frecuencia		
		Clase	Puntuación	Puntuación	Clase	Puntuación	Puntuación	Prioridad de acción	Caracterización del riesgo
1	Compuesto Isocianatos ISN 143	4	1000	2	Permanente	10	20000	1	Riesgo Alto
2	Poliol HDR	1	1	2	Permanente	10	20	3	Riesgo Bajo
3	Aditivos	1	1	2	Permanente	10	20	3	Riesgo Bajo
4	Catalizadores	3	100	2	Permanente	10	2000	1	Riesgo Alto
5	Desmoldantes	1	1	2	Permanente	10	20	3	Riesgo Bajo
6	Percloroetileno	5	10000	2	Frecuente	5	100000	1	Riesgo Alto
7	Cloruro de Metileno	5	10000	2	Frecuente	5	100000	1	Riesgo Alto
8	Pinturas o pigmentos	4	1000	2	Permanente	10	20000	1	Riesgo Alto
9	Diluyentes para pinturas	4	1000	2	Ocasional	1	2000	1	Riesgo Alto
10	Removedor	4	1000	2	Ocasional	1	2000	1	Riesgo Alto

Fuente: Adaptado de Instituto nacional de higiene y seguridad en el trabajo (2012)

La Tabla 6 muestra la evaluación y determinó que las sustancias químicas con riesgo más alto por contacto son precisamente las mismas arrojas por la evaluación de riesgo por inhalación. Esto se debe a que las variables utilizadas para la evaluación de ambos riesgos son las mismas (Clase de peligro y Frecuencia de exposición); sin embargo, para el riesgo por contacto se tiene en cuenta la clase de superficie expuesta. Esto se determina teniendo en cuenta que las actividades son manuales y el tipo de dotación que les suministran a los trabajadores. Por eso se escoge la puntuación 2 parte expuesta extremidades superiores.

Almacenamiento

Para el almacenamiento de sustancias químicas, Figura 4, se tuvo en cuenta las recomendaciones de Granada *et al*, (2015), estableciéndose que la empresa no cuenta con un solo lugar destinado para tal fin. Las canecas y galones con sustancias químicas están ubicados en toda la planta; se observan recipientes sin etiquetas; las hojas de seguridad no están publicadas en el almacén; además, no se aplica la compatibilidad de elementos al momento de almacenar. Se observa material altamente combustible almacenado junto con material inflamable o reactivo, lo cual puede generar riesgo de incendios o explosiones por incompatibilidad de productos químicos.



Figura 4. Almacenamiento de insumos y sustancias químicas: (a) Almacén – rollos de tela, plástico al lado de sustancias químicas, (b) Almacén – Pinturas y poliol sin estibar ni etiquetar, (c) Cabina de pinturas – sin etiquetas y (d) Zona de disposición final – Tinas desocupadas con tinas llenas de sustancias químicas.

Fuente: Autores

Manejo y Uso

En las fotografías presentadas en la Figura 5 se muestra un empleado realizando la tarea de preparación y llenado de las máquinas inyectoras. Esta labor se realiza a la hora del almuerzo, cuando estas máquinas paran la operación. Un solo empleado realiza esta operación sin supervisión, y sin ayuda para el transporte interno de los galones. Además, este debe subir a una altura de por lo menos 1,20 metros para

llenar la máquina inyectora de suelas y esta labor también la realiza solo. No existe supervisión y si se presentara el caso de alguna emergencia y el empleado llegase a necesitar ayuda, todo el personal se encuentra a una distancia más o menos de unos 200 metros separados por una bodega que no sería posible escucharlo.



Figura 5. Manejo de sustancias químicas en el llenado de las maquinas inyectoras: (a) (b) llenado de maquina inyectora de suelas, (c) llenado de maquina inyectora de plantillas y (d) llenado de maquina inyectora de suelas.

Fuente: Autores

Control de Ingeniería y Protecciones Colectivas

La empresa cuenta con un área total de 1.900 m², separada en 3 bodegas las cuales se comunican entre sí. La bodega donde está la maquina inyectora solo cuenta con 2 extractores de aire en mal estado, como se muestra en la Figura 6, pues, al momento de la inspección, estos no funcionaban y se encontraron obstruidos y sucios, al igual que los extractores de la zona de pinturas que, aunque sí funcionan,

son insuficientes para extraer los vapores generados por las 3 cabinas de pinturas que existen en la empresa. El almacén de sustancias químicas solo cuenta con un extractor. En total, para un área de 1.900 m² donde se manejan sustancias químicas que generan toxicidad por inhalación, solo hay 5 extractores y 2 están en mal estado.



Figura 6. Extractores de Vapores y Extintores: (a) Extractores cabinas de Pintura, (b) Extractor bodega 1, (c) Extractor almacén, (d) Extintor bodega 3 con los depósitos de basura, (e) Extintor bodega 2 al lado de las cabinas de pintura y (f) Extintor bodega 3 con los depósitos de basura.

Fuente: Autores

Elementos de Protección Personal

En la Figura 7 se puede observar que el personal tiene un manejo inadecuado de los elementos de protección personal, además no existen controles que permitan exigir el uso

de estos elementos; además se evidencia una baja información sobre la importancia de uso de esta protección.



Figura 7. Uso de Elementos de protección personal: (a) Máquina inyectora de plantilla, (b) Cabina de pinturas y (c) Cabina de pinturas.

Fuente: Autores

La empresa proporciona elementos de protección personal; sin embargo, a los empleados

no les dan el tratamiento que asegure su protección, como se evidencia en la Figura 8.



Figura 8. Cuidado de los Elementos de protección personal: (a) maquina inyectora de suelas – Respirador con filtro al lado de sustancias químicas, (b) Cabinas de pintura – Respiradores en cajas con trapos y encima de recipientes impregnados de sustancias químicas; (c) Cabinas de pintura – Respiradores en cajas untadas de pinturas, (d) Cabinas de pintura – Respiradores con trapos impregnados de sustancias químicas.

Fuente: Autores

Orden y Aseo

Como se muestra en la Figura 9, la falta de control del orden y el aseo evidencia condiciones inseguras por la exposición al peligro químico, y a otros peligros como condiciones de seguridad mecánico, tecnológicos, eléctrico,

locativo los cuales si no son controlados pueden generar un accidente de trabajo o una enfermedad laboral lo cual afecta la productividad, calidad y seguridad en la empresa objeto de estudio.



Figura 9. Orden y Aseo: (a) maquina inyectora de plantillas – Poliuretano derramado en el suelo y en recipientes plásticos sin tapar, (b) maquina inyectora de suelas – Poliuretano derramado en el suelo y en recipientes plásticos sin tapar y (c) maquina inyectora de suelas – Poliuretano derramado en el suelo y sobre cartón contaminando desechos reciclables.

Fuente: Autores

Disposición Final

Los residuos sólidos generados por la empresa se mezclan con residuos reciclables y con residuos peligrosos, y ambos se recolectan en los mismos recipientes que posteriormente se entregan a la empresa de aseo. Además, las tinas metálicas se venden a una persona natural (reciclador), quien las recoge en una carretilla en la que carga los sobrantes de químicos que estas puedan tener. Queda el interrogante

de cuál será la disposición final de estas. Como se observa en la Figura 10, la empresa objeto de estudio no cuenta con un procedimiento guía que le permita realizar una buena disposición final de los residuos, algunos de estos pueden ser contaminantes para el agua u organismos acuáticos, y estos se tratan como desechos ordinarios y se mezclan con papel, cartón e incluso desechos biológicos, como se puede observar en la foto.



Figura 10. Disposición Final de los residuos: (a) (b) Bodega 3 zona de disposición final, (c) zona de disposición final – Telas en tinas de sustancias químicas, (d) zona de disposición final – Desechos biológicos en tinas de sustancias químicas con papel.

Fuente: Autores

Procedimiento seguro de sustancias químicas

Con el fin de definir los lineamientos de seguridad para el manejo de sustancias químicas, de minimizar los riesgos laborales e impactos ambientales y así garantizar la salud e integridad física de los trabajadores, la protección del patrimonio de la empresa y protección del medio ambiente, se diseñó un procedimiento

para el manejo seguro de sustancias químicas. El procedimiento se aplicó para todos los trabajadores, contratistas y proveedores que desarrollen actividades asociadas al manejo de sustancias químicas en la empresa objeto de estudio; además, cuenta con instructivos para los procesos de manejo y uso de sustancias químicas, almacenamiento, disposición final, elementos de protección personal, plan de

contingencia, transporte interno, de inspección pre operacional de las maquinas o herramientas, lavado de suelas, primeros auxilios.

Para la implementación del procedimiento para el manejo seguro de sustancias químicas en la empresa de fabricación de suelas y plantillas a base de Poliuretano de la ciudad de Cali, Valle en el 2018, se tuvieron en cuenta tres aspectos importantes:

La conformación de un grupo para la implementación, control y seguimiento del procedimiento, el cual debe estar conformado por los encargados del almacén, el profesional de Seguridad y Salud en el Trabajo y por lo menos un operario de cada sección del proceso cuyo objetivo será capacitar, poner en marcha, evaluar y verificar el cumplimiento del procedimiento.

La formación y la capacitación hacen parte del eje fundamental en la fase de implementación; de su continuidad depende el mantenimiento y continua mejora del procedimiento.

La implementación la política de minimización de los residuos sólidos peligrosos y adoptar procesos para medir el cumplimiento de las metas planteadas.

La peligrosidad de algunas sustancias químicas utilizadas para la fabricación de suelas y plantillas a base de poliuretano es alta, tanto que la agencia de Servicio de Salud Pública Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de EE.UU., cataloga a los isocianatos (TDI y MDI) como sustancias químicas muy reactivas. Además de esto, un estudio en animales expuestos oralmente a TDI reportó aumentos en la tasa de tumores del páncreas, las glándulas mamarias y el hígado (Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades, 2015). El Instituto Nacional de Ciencias de Salud Ambiental (NIEHS)

considera que es razonable anticipar que el TDI es una sustancia carcinogénica en seres humanos. Aunque la EPA no ha clasificado el TDI en cuanto a carcinogenicidad (ATSDR, 2015). Aparte de los isocianatos, también se utilizan sustancias como pinturas, catalizadores, percloroetileno, cloruro de metileno, las cuales sí están catalogadas por la IARC como sospechosas de provocar cáncer tipo A2.

4. CONCLUSIONES

Se diagnosticó el manejo de las sustancias químicas según los procesos desarrollados por la empresa, por la mezcla de sustancias, con alta exposición y la inadecuada disposición de los residuos.

El procedimiento guía aplicado, contribuye a una producción más limpia por promover una mejor disposición de los residuos peligrosos que servirá como instrumento para concientizar a la población trabajadora en este tipo de empresas y superar la debilidad que resultó del diagnóstico, donde se encontraron 10 sustancias químicas consideradas peligrosas, 4 de ellas clasificadas por la IARC como grupo A2, sospechosas de provocar cáncer, además de ser tóxicas y nocivas para la salud y el medio ambiente.

Según parámetros de la INSHT de las 10 sustancias evaluadas, 7 tienen un porcentaje menor al 20%; sin embargo, no son eliminadas por contener frases H (H302, H331, H332, H350 y H351) lo que las convierte en sustancias reguladas por ser nocivas, tóxicas o sospechosas de provocar cáncer.

RECOMENDACIONES

Cumplir con los requerimientos de ley mediante un plan de capacitación en seguridad y salud en el trabajo, sistema de vigilancia epidemiológica para riesgo químico, gestión y manejo de sustancias peligrosas y su disposición final.

Realizar mantenimiento preventivo y correctivo, pero cada vez más orientado hacia lo preventivo o predictivo, que implica un monitoreo constante y una "hoja de vida" para cada equipo o máquina que permita llevar controles para su revisión oportuna.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer autor: Metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura – borrador original. **Segundo autor:** Investigación, conceptualización, análisis de datos. **Tercer autor:** Logística, escritura, revisión y edición. **Cuarto autor:** análisis de datos, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Al acompañamiento y aportes del semillero de investigación en gestión en seguridad y salud en el trabajo, especialmente Johanna Domínguez Orejuela, por su desempeño y contribución. Al decanato de investigaciones de la UNIAJC, por su acompañamiento.

LITERATURA CITADA

Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades. (10 de Septiembre de 2015). Resumen de salud pública, Tolueno Diisocianato (TDI) y Metilendifenil Diisocianato (MDI). Recuperado el 4 de Febrero de 2019, de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs206.pdf

Alonso, M. B. (Febrero de 2014). El contacto de agentes químicos con la piel y los ojos: su evaluación y formas de evitarlo. *Seguridad y Salud en el Trabajo*, 76, pp. 6 -15.

Anaya Orbis, G. (2015). Estudio de riesgo higiénico por inhalación de productos químicos. Estudio (Tesis de Maestría). Universidad Miguel Hernández, España.

ATSDR – Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2015). Resumen de Salud Pública Tolueno Diisocianato (TDI) Y Metilendifenilo Diisocianato (MDI). E.U. Recuperado de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs206.pdf

Calera, A, Roel, J., Casal, A., Gadea, R., y Rodrigo F. (2005). Riesgo Químico Laboral: Elementos para un Diagnostico en España. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 283-295.

Congreso de la República (1993). LEY 55. Por medio de la cual se aprueba el convenio número 170 y la recomendación número 177 sobre la seguridad en la utilización de productos químicos en el trabajo. Bogotá D.C.

EPA – Environmental Protection Agency. (2017). *Impacto de los compuestos orgánicos volátiles en la calidad del aire interior*. Recuperado de <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>

Fasecolda (23 de Octubre de 2011). *RL datos riesgos laborales*. Recuperado el 2018 de Agosto de 20, de <https://consultas.fasecolda.com/rldatos/>

Francelly Sánchez, J. P. (2014). Eficacia de las Medidas Preventivas y Evaluación del Riesgo Químico en una Empresa Avícola. *Revista Colombiana de Salud Ocupacional*, 4(2), 5 - 11. <https://doi.org/10.18041/2322-634X/rcso.2.2014.4899>

Franco, J., Bernaola, M., Gálvez, V., Sánchez, P., Sánchez, M., Sousa, C., Tejedor, J. (2010). *Riesgo Químico: Sistemática para la Evaluación Higiénica*. Madrid, España.

Gisbert, E. V. (2018). Sistema globalmente armonizado (GHS). Elche, España.

Granada, L. F., Vallejo, L. A., Moreno, S., y Toro, E. (2015). *Modelo de gestión integral para el manejo de residuos sólidos peligrosos*. Cali, Colombia: Editorial Bonaventuriana.

Granada Aguirre, L. F., Vallejo Morán, L. A., y Álvarez Castro, N. (2019). *Proyectos ambientales para la minimización de residuos: Producción Limpia*. Cali: Ediciones de la U.

Instituto colombiano de normas técnicas y certificación (2012). *Guía técnica colombiana GTC-45. Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional*. Recuperado de <https://idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/gtc45.pdf>

Instituto nacional de higiene y seguridad en el trabajo. (2012). Instituto nacional de higiene y seguridad en el trabajo. Recuperado el 13 de 12 de 2018, de <https://www.insst.es/documents/94886/326879/937w.pdf/9f3ff227-acfa-46b2-8613-355f5d057ad7>

- Martínez J. (2015). *Riesgo por Exposición a Isocianatos*. Valencia: Ibermutuamur.
- Ministerio de Salud. (2017). *LINEAMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA GLOBALMENTE ARMONIZADO DE CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO DE PRODUCTOS QUÍMICOS EN COLOMBIA COMPETENCIAS DEL SECTOR SALUD*. Bogotá.
- Ministerio de Ambiente. (2018). *Libro Naranja de las Naciones Unidas*. Obtenido de <http://quimicos.minambiente.gov.co/index.php/gestion-de-sustancias-quimicas/sistema-globalmente-armonizado/libro-naranja-de-las-naciones-unidas>
- Ministerio de Ambiente. (2018). *Libro Púrpura de las Naciones Unidas*. Obtenido de <http://quimicos.minambiente.gov.co/index.php/gestion-de-sustancias-quimicas/sistema-globalmente-armonizado/libro-purpura-de-las-naciones-unidas>
- Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial (MAVDT). (30 de diciembre de 2005). Decreto 4741. *Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral*. Bogotá D.C, Colombia.
- Ministerio de Trabajo. (26 de Mayo de 2015). *Decreto 1072. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo*. Obtenido de <http://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/50711/DUR+Sector+Trabajo+Actualizado+a+Abril+de+2017.pdf/1f52e341-4def-8d9c-1bee-6e693df5f2d9>
- Naciones Unidas. (2015). *Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA)*. Nueva York y Ginebra.
- Organización internacional del trabajo (OIT) (2014). *La Seguridad y la Salud en el uso de Productos Químicos en el Trabajo*. http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_protect/@protrav/@safework/documents/publication/wcms_235105.pdf
- Patiño Flores, R. I. (Febrero de 2017). *Riesgo químico y salud ambiental en Colombia: Estudio de caso con hidrocarburos aromáticos* (Tesis de Doctorado). Universidad Miguel Hernández de Elche, España.
- Río, J. P. (2011). *Reglamento CLP sobre Clasificación, Etiquetado y Envasado de Sustancias y Mezclas*.
- Rodríguez, S. (2008). Aplicación de métodos simplificados de evaluación del riesgo químico con efectos para la salud. *Seguridad y salud en el trabajo*, pp. 28 - 39.
- Vargas Ramos, Y., y Marrugo Negrete, J. (2014). Exposición a COVs en fábricas de muebles de dos poblaciones del norte de Colombia. *Revista de Salud Pública*, 16(6), 834-846. <https://doi.org/10.15446/rsap.v16n6.38585>

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.

ESTIMACIÓN DE FLUJOS DIFUSIVOS DE CO₂ EN EMBALSES TROPICALES MEDIANTE EL USO CONJUNTO DE LA TELEDETECCIÓN, LA MODELACIÓN DE CONCENTRACIONES SUPERFICIALES DEL GAS Y K₆₀₀

CO₂ DIFFUSIVE FLUX ESTIMATION FOR TROPICAL RESERVOIRS FROM JOINT UTILIZATION OF REMOTE SENSING, SUPERFICIAL GAS CONCENTRATIONS AND K₆₀₀ MODELLING

¹Juan G. León

²Mariam Rojas

¹PhD. Ciencias de la Tierra, del Ambiente y del Espacio. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.

²MSc. Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia

¹jgleonh@unal.edu.co; ²mgrojas@unal.edu.co

RESUMEN

Contextualización: actualmente, se reconoce a nivel internacional que los embalses, además de alterar el natural ciclo del carbono, son fuertes emisores de gases de efecto invernadero (GEI) y, en la cuantificación de sus emisiones, prevalecen grandes incertidumbres sobre las que, solo hasta el momento, se ha comenzado a generar conocimiento, mediante mediciones directas en campo sobre las verdaderas magnitudes de las emisiones que tienen lugar en estos hidrosistemas.

Vacío de conocimiento: los altos costos del desarrollo de mediciones *in situ*, análisis de muestras y cuantificación de emisiones, han sido un impedimento mayor para

la producción de información suficiente que conlleve a una comprensión global del comportamiento de estos hidrosistemas en términos de emisiones.

Propósito del estudio: con base en los resultados del Proyecto GEITRO (2012-2014), cuyo objetivo principal fue cuantificar las emisiones de GEI generados en el embalse de Riogrande II (Antioquia, Colombia) a partir de muestreos exhaustivos *in situ*, se abrió la posibilidad de explorar métodos alternativos que permitan la cuantificación de emisiones mediante la aplicación de modelos fundamentados en el uso de variables medibles basados en sistemas remotos como la teledetección.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.3587>

El objetivo principal de este estudio fue evaluar cómo el uso conjugado de datos, medidos desde el espacio, y modelos que relacionen dichos datos con las concentraciones superficiales de un gas en el agua, así como su coeficiente de velocidad de transferencia, se podrían usar para estimar de manera acertada los flujos difusivos del gas en el espacio y en el tiempo, reduciendo los esfuerzos de monitoreo en campo.

Metodología: los métodos estuvieron fundamentados en el análisis de la información proveniente de los datos de campo para el desarrollo y validación de los modelos, así como la deducción de temperaturas superficiales del agua medidas a partir sensores remotos para la estimación final de emisiones a partir de los modelos propuestos.

Resultados y conclusiones: como resultado se han desarrollado dos modelos: uno para la estimación de concentraciones superficiales de CO₂ y otro para la estimación del coeficiente de velocidad de transferencia normalizado sobre número de Schmidt de 600 (K600). El resultado de la aplicación de estos dos modelos condujo a la estimación de flujos difusivos de CO₂ del embalse. Los procesos de validación permitieron concluir que los modelos desarrollados logran reproducir, de manera más que aceptable (error relativo 15 ± 0,07% en promedio), los flujos difusivos de CO₂ medidos en el embalse de RGII entre los años 2012 y 2014. Finalmente, a partir de estos resultados, se emplearon las temperaturas superficiales, medidas por MODIS-Terra, con el fin de estimar los flujos difusivos de CO₂ sobre el embalse.

Palabras clave: Coeficiente de velocidad de transferencia; Concentraciones superficiales de CO₂; embalses; MODIS Terra.

ABSTRACT

Contextualization: Currently, it is internationally recognized that the reservoirs alters the natural carbon, they are strong GHG emitters and, in the quantification of their emissions, important uncertainties still prevail. Only, up to now, the initiatives of direct measurements in the field have begun to generate knowledge about the true magnitudes of the emissions produced from these hydrosystems.

knowledge gap: The high costs to develop in-situ measurements, analyses of samples and quantification of emissions, have been a major impediment to the production of sufficient information that leads to a global understanding of the behavior of these hydrosystems in terms of emissions.

Purpose: Based on the results obtained from GEITRO Project (2012-2014), whose main objective was to quantify the GHG emissions generated in the Riogrande II dam based on exhaustive in situ monitoring, it was possible to explore alternative methods to allow the quantification of emissions generated in a dam by means of application or development of models based on the use of measured issues from remote sensors like tele-detection. The main objective of this research was to evaluate how the conjoint use of measured spatial data and models relating these data to gas surface concentrations, as well as its transfer velocity coefficient, could be used to estimate CO₂ diffusive flow emissions, in time and space, avoiding huge *in situ* monitoring efforts.

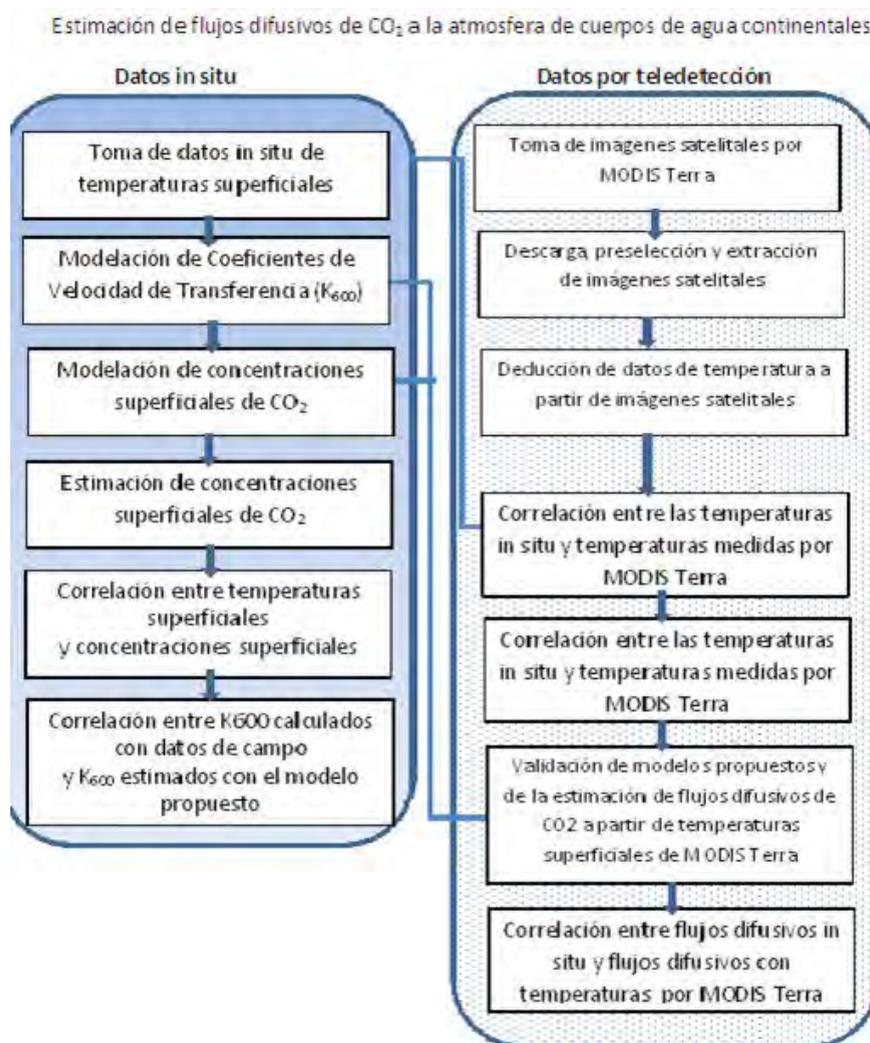
Methodology: Methods were based on the analysis of the information from the field data for the development and validation of the models, as well as the deduction of water surface temperatures measured from remote sensors for the final estimation of emissions from the deduced models.

Results and conclusions: As a result, we developed two models: one for the estimation of surface CO₂ concentrations and another for the estimation of the normalized transfer velocity coefficient normalized under the Schmidt's number of 600 (K₆₀₀). The result of the application of these two models allowed to the estimation of CO₂ diffusive flux from the dam. The validation processes of the models allowed to conclude that they manage to reproduce more

than acceptable (relative error of 15 ± 0.07% on average) the diffusive CO₂ fluxes measured in the RGII reservoir between 2012 and 2014. Finally, based on these results, we used Water Surface Temperature (WST) measured by MODIS-Terra for the estimation of the diffusive flux of CO₂ on the dam.

Keywords: Transfer velocity coefficient; CO₂ Surface concentrations; dams; MODIS Terra.

RESUMEN GRÁFICO



1. INTRODUCCIÓN

Los embalses son considerados como una fuente de emisiones de gases de efecto invernadero de origen antrópico a causa de su naturaleza. Su comportamiento, como ecosistema acuático, responde a los mismos procesos fisicoquímicos y a la degradación de la materia orgánica (MO) que un ecosistema acuático de origen natural. A pesar de que existen en la actualidad grandes incertidumbres con relación a la magnitud precisa de emisiones de estos sistemas, diversos estudios (Guérin y Abril, 2007; Guérin et al., 2008) sugieren que los embalses pueden contribuir en un 4% y 12% de las emisiones globales de origen antrópico de CO₂ y CH₄ respectivamente.

Hasta el momento, no hay evidencia científica concluyente respecto a la magnitud real de emisiones de GEI que tienen lugar en embalse, y es probable que las aproximaciones difieran de manera importante según la región geográfica. El Informe del IPCC (2011), junto con otra serie de estudios más recientes, como el de Raymond et al. (2013) y Werhli, B (2013), sostienen que existen muy pocas mediciones de emisiones de GEI en regiones tropicales a nivel de embalses y de ecosistemas acuáticos en general y que, por el momento, la poca información disponible resulta insuficiente para dar una conclusión relacionada con los aportes de emisiones de GEI a partir de dichas regiones.

Existen importantes estudios que aportan conocimiento en este dominio de la cuantificación de emisiones en ecosistemas acuáticos, los cuales están representados en aquellos desarrollados por Guérin y Abril (2007) y Guérin et al., (2007) sobre el embalse de Petit-Saut en Guyana francesa, Kemenes et al., 2007; Kemenes et al., 2011 en la represa de Balbina en Brasil, Chanudet et al., (2011) en los embalses de Nam Ngum y Nam Leuk, Fearnside (2016); Fearnside (2009) y Demarty y Bastien (2011)

en diferentes embalses tropicales. Sin embargo, estas iniciativas son insuficientes para determinar con precisión la contribución de emisiones de GEI de embalses en el trópico.

Los elevados costos relacionados con el desarrollo de trabajos de campo periódicos, compra y mantenimiento de equipos de medición, tomas y análisis de muestras, entre otros, dificultan la ejecución el desarrollo de esta labor. En este sentido, se hace inminente el desarrollo de modelos que permitan estimar de forma confiable el conjunto de emisiones de estos ecosistemas a partir de información que sea accesible por medio de sensores remotos (estaciones de medición en tiempo real, teledetección, etc.).

El uso de los sensores remotos para este fin ha sido altamente reportado para ecosistemas marinos (Stephens et al, 1995); sin embargo, su aplicación en ecosistemas acuáticos continentales está muy débilmente documentada. En esto se basa la necesidad de reportar los posibles resultados, positivos o negativos, de tal aplicación en un ecosistema acuático tropical de alta montaña.

Esta investigación tuvo como objetivo fundamental aplicar el uso de herramientas de observación, como sensores remotos, para alimentar modelos de emisiones de GEI actualmente reportados en la literatura, con el fin de reconstituir flujos difusivos de CO₂ medidos en campo sobre el embalse de Riogrande II (RGII) y poder determinar la viabilidad del uso de este tipo de tecnologías en la estimación de tales emisiones de este biogás en ecosistemas acuático tropicales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Antecedentes y descripción de la zona de estudio

Entre el año 2012 y el 2014, el Grupo de Investigación en Ecología y Contaminación Acuática

de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, desarrolló el proyecto de investigación "Cuantificación de emisiones de GEI en embalses tropicales: Caso del Embalse de Riogrande II" – GEITRO (GEITRO 2012). Este proyecto tuvo como objetivo fundamental adquirir datos de campo durante 18 meses, para estimar las emisiones de CO₂ provenientes del embalse de Riogrande II, así como el análisis del comportamiento biogeoquímico del sistema que permitiría comprender las relaciones que influyeron sobre tales emisiones. El conjunto de datos de campo y análisis realizados para el embalse fueron puestos a disposición para el desarrollo de este estudio.

El embalse de Riogrande II (Figura 1), está situado a 2.270 msnm en la región Andina de Colombia, al norte del departamento de Antioquia. Presenta un área inundada, a la cota de vertimiento, de aproximadamente 1.214 ha, y represa, a esa cota, un volumen de agua

estimado en 236 mm³ con tiempos de retención hidráulicos de 77 días en promedio. Sobre la superficie, los anchos máximos del espejo de agua no superan los 900 m y pueden fluctuar en promedio entre los 300 m y 320 m, aproximadamente. Las profundidades máximas, que pueden alcanzar los 48 m, se encuentran en varias áreas de la presa y en el centro de confluencia de los dos principales tributarios que surten el sistema: Río Grande y Río Chico. Estos dos ríos, condicionados por regímenes de precipitación que varían entre 1900 y 2100 mm al año, pueden llegar a aportar, en promedio, alrededor de 15 a 25 m³ s⁻¹, a partir de un área drenada de aproximadamente 1.050 km². El sistema está globalmente condicionado por un régimen bimodal marcado por precipitaciones moderadas entre los meses de marzo, abril y mayo; y por precipitaciones fuertes durante los meses de septiembre y octubre. El período de sequía más importante tiene lugar hacia finales de diciembre e inicios de febrero.

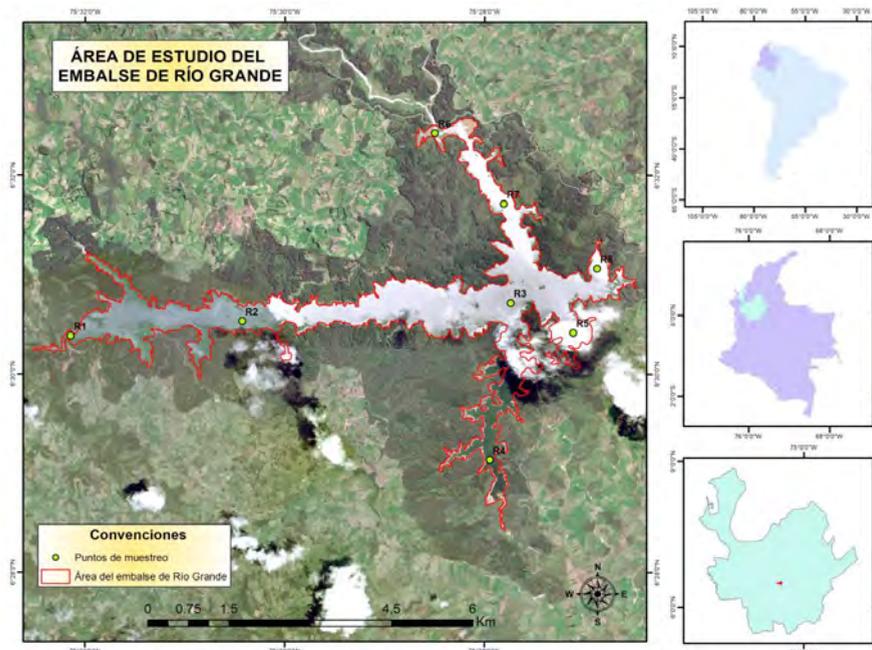


Figura 1. Ubicación del embalse de Riogrande II en Antioquia, Colombia y ubicación de los puntos de control para muestreos.

Fuente: Autores

Descripción de los datos de campo existentes para RGII

Entre marzo 2012 y febrero 2014, se realizaron 14 trabajos de campo. Estas comisiones científicas tuvieron como objetivo general tomar muestras en los diferentes puntos de control (Figura 1) para el seguimiento de la calidad del agua en términos de parámetros fisicoquímicos superficiales como pH, oxígeno disuelto, temperatura y conductividad; concentraciones de gases en la columna de agua; medición de flujos difusivos desde la superficie del lago a la atmósfera; y medición de flujos de ebullición. Con respecto a lo anterior, se usó en forma permanente una estación meteorológica portátil que registró durante todo este periodo, con intervalos de 30 minutos entre un registro y otro, las siguientes variables: temperatura máxima y mínima, precipitación, evapotranspiración, humedad relativa, presión atmosférica, radiación solar, velocidad y dirección del viento.

Estimación de flujos difusivos de CO₂

En el marco de este estudio se consideran dos fuentes de información con relación a los flujos difusivos de CO₂ en el embalse de Riogrande II: i) Los flujos que ya se midieron en campo durante el proyecto GEITRO (2012) y, ii) Los flujos que se estimarán mediante la utilización conjunta de los modelos desarrollados en esta investigación e imágenes satelitales. Para el segundo caso, es necesario considerar que, el total de las emisiones de un gas (g) que tienen lugar desde el espejo de agua hacia la atmósfera son dependientes de: i) la variación de velocidades de transferencia del gas en dicha interface a una temperatura superficial del agua dada y, ii) la diferencia entre la concentración del gas en el agua y su concentración de equilibrio con la atmósfera según la ecuación 1:

$$F(\text{CO}_2) = k_{g,T} \Delta C \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde F (CO₂) es el flujo difusivo de CO₂, k_{g,T} es la velocidad de transferencia del gas para un gas (g) particular a una temperatura (T) dada, y ΔC es el gradiente de concentración de CO₂ expresado como la diferencia entre la concentración en el agua (C_w) y la concentración de equilibrio entre el agua y la atmósfera (C_{eq}).

Cuando k_{g,T} es conocido para un gas a una temperatura T1 (K_{g1,T1}), es posible calcular un valor diferente de k_{g,T} a una temperatura T2 (K_{g2,T2}) gracias a la relación entre los números de Schmidt (Sc) (Jähne, 1987):

$$\frac{k_{g1T1}}{k_{g2T2}} = \left[\frac{Sc_{g1T1}}{Sc_{g2T2}} \right]^n \quad (\text{ecuación 2})$$

El exponente n de la Ecuación 2 varía de 1 a -0,67 según el proceso dominante del fenómeno de la difusión (Jähne, 1987). El número de Schmidt (Sc) es calculado para el CO₂ con la Ecuación propuesta por Wanninkhof (1992):

$$Sc_{CO_2} = 1911.1 - 118.11T + 3.4527T^2 - 0.04132T^3 \quad (\text{ecuación 3})$$

Donde T es la temperatura superficial del agua en °C.

Jähne (1987) proponen una solución para la Ecuación 2 en función a la Ecuación 3:

$$K_{g,T} = K_{600} \left(\frac{600}{Sc_T} \right)^{-n} \quad (\text{ecuación 4})$$

Donde k₆₀₀ es la velocidad de transferencia del gas normalizada por el número de Schmidt de 600 (Sc = 600, para CO₂ a 20°C), y sobre la superficie de un lago n puede asumirse como 0,66 para velocidades de viento inferiores a 3,5 m.s⁻¹, o 0,5 para velocidades superiores a ese valor (Guérin et al., 2007).

Modelación de concentraciones superficiales de CO₂

Ha quedado establecido que los flujos difusivos de un gas dependen tanto de la concentración superficial de dicho gas, como del coeficiente de velocidad de transferencia del mismo (ver Ecuación 1). Para el primer caso, si bien para este estudio se podrían usar las concentraciones superficiales de CO₂ medidas en campo en el proyecto GEITRO (2012), la aproximación que se tiene en cuenta en esta investigación ha considerado la posibilidad de desarrollar un modelo capaz de establecer una relación entre dichas concentraciones y las temperaturas superficiales del agua. En efecto, las concentraciones de CO₂ en el agua tienen ocurrencia en función a la temperatura, las presiones parciales del gas, la alcalinidad y la salinidad del medio. En cuerpos de agua continentales con pequeños cambios en alcalinidad y salinidad (lo cual ocurre en la mayoría de los casos), la variación de concentraciones de CO₂ están, por ende, principalmente gobernadas en estos casos por los cambios en la temperatura y las presiones del gas en agua. Para el caso de los océanos, existen modelos ampliamente documentados en los que se correlacionan las presiones parciales (pCO₂) o concentraciones superficiales del gas, con las temperaturas superficiales. Entre los más utilizados está el modelo propuesto por Stephens et al, (1995); sin embargo, se estima que no existe evidencia de modelos reportados para el caso de ecosistemas acuáticos continentales.

La aproximación propuesta en este estudio consiste entonces en el uso de los datos de campo relacionados con la medición de concentraciones superficiales y temperaturas superficiales (GEITRO, 2012). El objetivo es ajustar entre ambas variables una relación matemática que permita estimar dichas concentraciones a partir de valores conocidos de temperatura superficial del agua. Esta temperatura, para efectos

de esta investigación, sería obtenida a partir de imágenes satelitales tal como se describirá más adelante.

Modelación de Coeficientes de Velocidad de Transferencia (K₆₀₀) en ecosistemas acuáticos continentales

Siguiendo la misma lógica para la solución de la Ecuación 1, se ha establecido que, para la estimación de los flujos difusivos de un gas se requiere también conocer la velocidad de transferencia del mismo (k_{g,t}). Igualmente que el caso anterior, si bien podría usarse para este estudio las velocidades de transferencia CO₂ estimadas a partir de datos de campo por el proyecto GEITRO (2012), esta investigación ha considerado la posibilidad de desarrollar un modelo adicional que conlleve a deducir, para el caso de Riogrande II, un modelo ajustado entre tales valores de velocidad de transferencia y la velocidad del viento.

Para los lagos y embalses, el coeficiente de velocidad de transferencia de un gas (k en la Ecuación 1) ha sido altamente documentado y parametrizado como una función de la velocidad del viento y normalizado usando el número de Schmidt de 600 (K₆₀₀) (Cole y Caraco, 1998; Crusius y Wanninkhof, 2003).

Li, (2018) sintetiza cinco de los modelos más confiables para la estimación de K600 (ecuaciones 5-9):

$$\text{Cole y Caraco (1998): } K_{600} = 2.07 + 0.215 U_{10}^{1.7} \quad (\text{ecuación 5})$$

Esta relación es precisa para velocidades de viento tomadas a 10 metros de altura (U₁₀) y cuya magnitud no supera los 3.7 m.s⁻¹.

$$\text{Borges et al. (2004): } K_{600} = 4.045 + 2.580 U_{10} \quad (\text{ecuación 6})$$

Esta relación está ajustada para velocidades del viento U₁₀ superiores a 2 m.s⁻¹.

Raymond and Cole (2001): $K_{600} = 2.06 e^{(0.37 U_{10})}$
(ecuación 7)

La cual no presenta restricciones para límites de velocidad del viento.

McGillis et al. (2001): $K_{600} = 3.3 + 0.026 U_{10}^3$
(ecuación 8)

Igualmente, sin restricciones para límites de velocidad del viento.

Guérin et al. (2007): $K_{600} = 1.76 + 0.23 U_{10}^{1.78}$
(ecuación 9)

Sin restricción para velocidad del viento.

Para cada una de estas relaciones, K₆₀₀ (cm.h⁻¹) es la velocidad de transferencia ajustada al número de Schmidt de 600 para el CO₂ a 20°C. U₁₀ (m.s⁻¹) es la velocidad del viento ocurrida a 10 m por encima del espejo de agua.

Conociendo entonces los valores de K₆₀₀ a una velocidad del viento (U₁₀), por medio de cualquiera de los modelos antes descritos, es posible deducir los valores de velocidad de transferencia del CO₂ (kg,T) para estimar los flujos difusivos del gas (F(CO₂)) según lo dispuesto en la Ecuación 1.

MODIS Terra para estimación de temperaturas superficiales sobre RGII

Se escogieron los productos MODIS Terra, generados por la misión espacial MODIS, para el objeto de este estudio, teniendo en cuenta exclusivamente la disponibilidad de imágenes sobre el embalse de RGII para las mismas fechas en que existen las mediciones de campo descritas anteriormente. MODIS Terra observa la totalidad de la cobertura

terrestre cada 1 a 2 días con adquisición de datos en 36 bandas espectrales diferentes. Sus órbitas están ubicadas a 705 km de altura y proveen una resolución espacial de 1000 m para las bandas que registran la Temperatura de la Superficie Terrestre (LST por sus siglas del inglés Land Surface Temperature) (Fisher, 2013).

Wan (2013) propone la estimación de la LST como la muestra la Ecuación 10:

$$LTS = C + \left(A_1 + A_2 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + A_3 \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2} \right) \frac{T_{31} + T_{32}}{2} + \left(B_1 + B_2 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + B_3 \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2} \right) \frac{T_{31} - T_{32}}{2}$$

(ecuación 10)

Donde: T₃₁ y T₃₂ son las bandas 31 y 32 de MODIS; ε son el promedio de la emisividad de la superficie de las bandas 31 y 32 de MODIS, C, A₁, A₂, A₃, B₁ y B₃ son coeficientes de regresión (Wang, Liang y Meyers, 2008).

El procedimiento específico consistió en descargar las imágenes disponibles para las fechas de interés, es decir, las mismas fechas en las cuales se realizaron los trabajos de campo sobre el embalse de RGII dentro del marco del proyecto GEITRO (2012). La descarga se realizó del portal web de la NASA, llamado Centro de Archivos Activos Distribuidos de Nivel-1 y Atmósfera (LAADS-DAAC). A través de esta plataforma, se buscaron, seleccionaron y ubicaron las fechas necesarias para su posterior descarga y tratamiento (NASA, 2018), asegurándose de acceder a los productos de Temperatura y Emisividad de la Superficie Terrestre (Wan, 2013).

Después de la preselección y descarga de los productos, se proyectaron las imágenes al sistema de coordenadas UTM zona 18N con Datum WGS 1984, usando la herramienta MODIS Reprojection Tools (MTR) de acuerdo con Dwyer & Schmidt (2006).

Los valores de las temperaturas superficiales o LST de las imágenes seleccionadas, inicialmente en escala absoluta de Kelvin, fueron convertidas a escala relativa en grados Celsius empleando la siguiente relación:

$$T(^{\circ}\text{C})=(\text{DN} \cdot 0.02)-273.1 \quad (\text{ecuación 11})$$

Donde DN es el Número Digital estimado por los algoritmos a bordo del satélite según la Ecuación 1.12, y corresponde a los valores de LST día o noche respectivamente contenidos en las imágenes seleccionadas.

El procedimiento del cálculo se realizó mediante la calculadora de *raster* en el software ArcGIS 10.6. Estas temperaturas se validaron teniendo en cuenta las temperaturas medidas en campo para una misma fecha y posteriormente usadas para la estimación de concentraciones superficiales de CO₂ en el embalse de RGII.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Disponibilidad de información del proyecto GEITRO (2012)

Del proyecto GEITRO (2012), se extrajo el conjunto de mediciones de flujos difusivos y concentraciones de CO₂ realizadas durante los trabajos de campo (12 en total), así como los datos relacionados con las temperaturas superficiales del cuerpo de agua y velocidades del viento actuando sobre el hidrosistema registrados a cada instante de tiempo en que se medían concentraciones y flujos difusivos. El número de trabajos de campo son relacionados por fecha (Tabla 1).

A partir de la medición de los flujos difusivos de CO₂ mediante el método de las cámaras flotantes, la temperatura superficial del agua y las concentraciones superficiales del biogás, el desarrollo del proyecto GEITRO (2012) estuvo en capacidad de deducir los valores de velocidad de transferencia ($K_{g,T}$) y el número de Schmidt (S_{CT}) relacionados en la Ecuación 2 en cada uno de los puntos de control (Figura 1). En consecuencia, se pudo estimar el valor de velocidad de transferencia normalizado a K_{600} , y se pudo determinar la relación con la velocidad local del viento, que se midió en la estación meteorológica instalada en el embalse.

Tabla 1. Fechas de campañas científicas realizadas en el proyecto GEITRO (2012) sobre el embalse de RGII.

Número de campaña	Fecha(d/m/año)	Puntos de control muestreados
1	30/07/2012	R2, R7 y R8
2	16/09/2012	R8
3	31/10/2012	R2, R4
4	01/02/2013	R2, R4, R7
5	27/03/2013	R2 y R8
6	05/06/2013	R4 y R8
7	24/07/2013	R2 y R7
8	20/08/2013	R2
9	18/09/2013	R4, R7 y R8
10	27/11/2013	R4
11	28/01/2014	R8
12	25/02/2014	R4 y R7

Fuente: Proyecto GEITRO, 2012

Modelo para estimación de concentraciones superficiales de CO₂ en RGII

Teniendo en cuenta el conjunto de medidas de campo antes mencionadas, particularmente concentraciones y temperaturas superficiales, fue posible proponer un modelo propio de concentraciones superficiales para el embalse de RGII que relaciona esas dos variables usando el software de Microsoft EXCEL (este fue usado en permanencia para

todo el análisis de los datos que son presentados en adelante).

La Figura 2 presenta la mejor correlación encontrada ($R^2=0,77$; $p<0,05$) entre el conjunto de datos disponibles. El número total de datos correlacionados (n) fue de 23, lo que corresponde a un 70% del total de datos disponibles dentro de la base de datos descrita en la sección anterior.

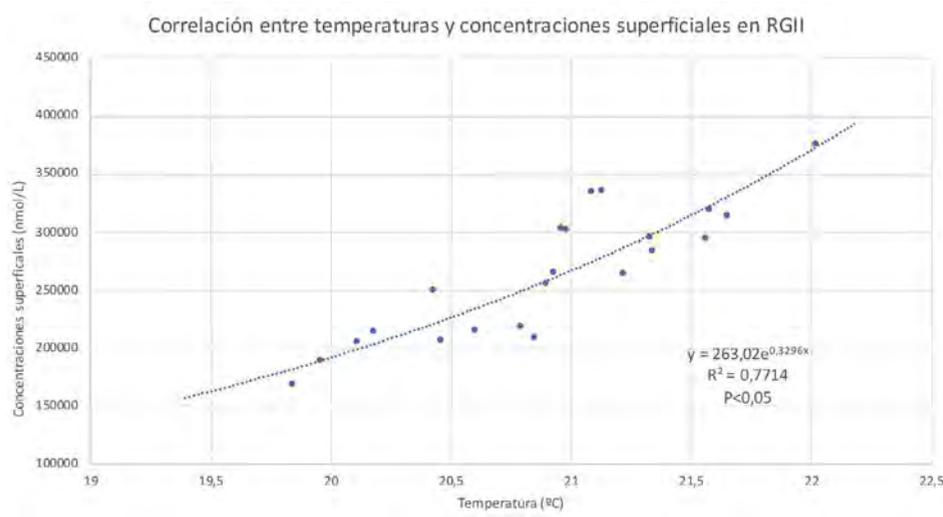


Figura 2. Correlación entre temperaturas superficiales y concentraciones superficiales en el embalse RGII.

Fuente: Autores

La función exponencial encontrada y que será, en consecuencia, usada para modelar en adelante las concentraciones superficiales de CO₂ a partir de temperaturas superficiales medidas en campo, o por cualquier otro método disponible, está dada por la Ecuación 12.

$$C_w = 263,02e^{0,3296 T} \quad (\text{ecuación 12})$$

Donde, C_w es la concentración superficial de CO₂ en el agua expresada en nmol.L⁻¹, y T es la temperatura superficial del agua expresada en °C.

Esta relación fue utilizada entonces para modelar las concentraciones superficiales a partir de temperaturas estimadas por teledetección.

Modelos para estimar K₆₀₀ en RGII

Si bien este estudio pudo haber utilizado directamente los valores de $K_{g,T}$ calculados por el proyecto GEITRO (2012), la intención es la de emplear herramientas que conlleven a disminuir las intervenciones directas en campo. En este sentido, un resultado adicional de esta investigación es estimar los valores de K_{600} a partir de valores conocidos de velocidad del viento, teniendo en cuenta la relación bien documentada que existe entre ambas variables (Li, 2018).

Con el fin de definir el mejor modelo para estimar los valores de K_{600} para el caso de RGII; se ha aplicado cada una de las Ecuaciones 5 a 9, empleando los valores de velocidad de viento

(U10) medidos en campo; y se han comparado los valores estimados por dichos modelos con los valores de K_{600} ya deducidos dentro del marco del proyecto GEITRO (2012).

Los resultados de la aplicación de estos 5 modelos son presentados en la Figura 3. Como se puede observar en esta figura, solo uno de los modelos, el propuesto por Guérin et al. (2007), presenta una correlación que podría considerarse aceptable para poder estimar con la mejor precisión posible los valores de K_{600} ($R^2 = 0,62$; $p < 0,05$). Por el contrario, los resultados obtenidos a partir de los otros

modelos no son satisfactorios. Esto no puede interpretarse como que los modelos sean errados. Indica, simplemente, que ninguno de ellos se ajusta al comportamiento que se observó en torno a K_{600} dentro del embalse RGII durante los años 2012 a 2014 cuando se realizaron los muestreos de campo. En efecto, la mayoría de estos modelos han sido desarrollados para ecosistemas acuáticos en zonas boreales o tropicales de bajas altitudes. En el caso de RGII estamos hablando de un embalse tropical de montaña, y hasta donde se tiene conocimiento ningún modelo ha sido propuesto para este tipo de ecosistema.

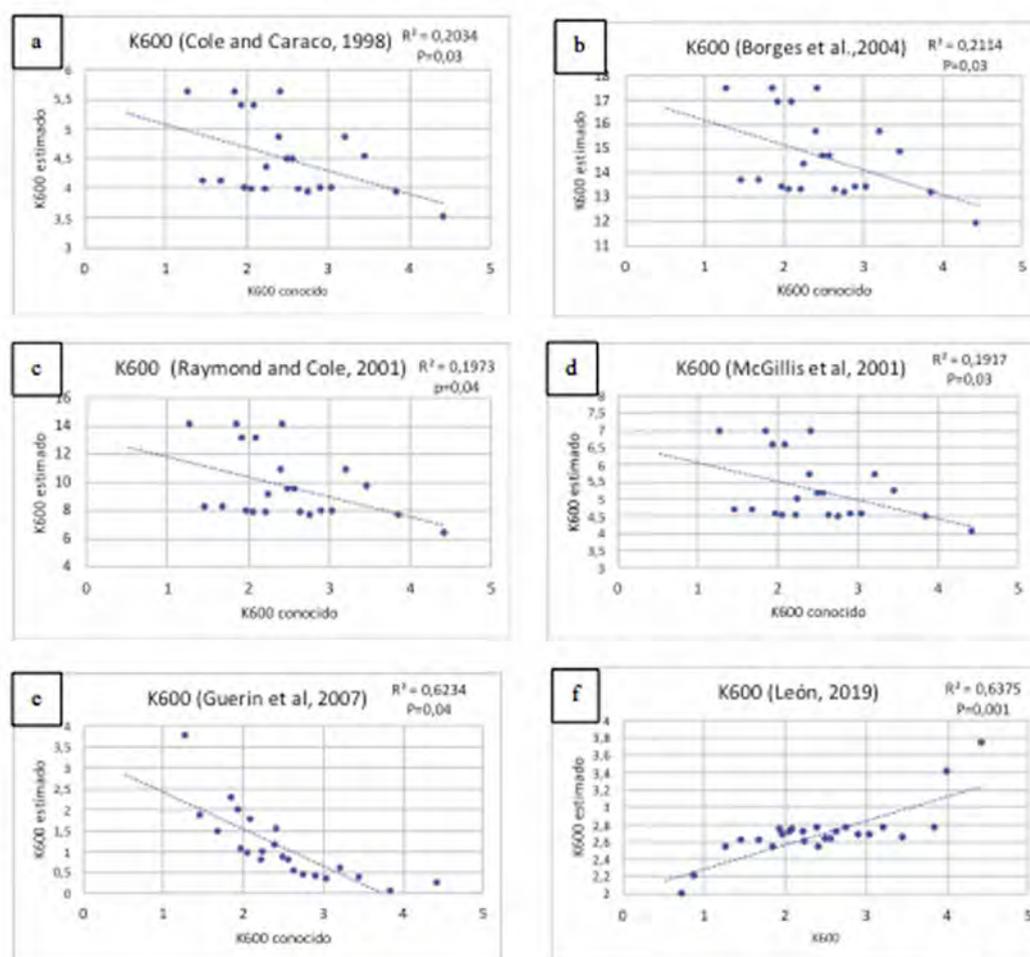


Figura 3. Correlación entre K600 calculados con datos de campo y K600 estimados con los modelos propuestos: a) Cole y Caraco (1998), b) Borges et al. (2004), c) Raymond and Cole (2001), d) McGillis et al. (2001), e) Guérin et al. (2007) y, f) Modelo propuesto en este estudio.

Fuente: autores.

Gracias a la disponibilidad de datos de campo, resultó posible deducir un modelo propio de K₆₀₀ para el embalse de RGII, al correlacionar las velocidades del viento medidas en campo (y ahora corregidas a U10) con los valores de K₆₀₀ deducidos a partir de los datos mediante la aplicación de las Ecuaciones 1, 3 y 4. La Ecuación 13 corresponde al modelo de deducido para RGII en el marco de este estudio.

$$K_{600} = 0,4054e^{0,342 U_{10}} \quad (\text{ecuación 13})$$

En la Figura 3f se observa la correlación (R²=0,63; p<0,05) de los datos estimados por el modelo y los datos conocidos de K₆₀₀.

Del contexto anterior se puede deducir que, si bien el modelo propuesto por Guérin et al. (2007), particularmente aplicable a embalses tropicales de zonas bajas, presenta una correlación aceptable con el modelo deducido en el marco de este estudio, aunque presenta una

correlación un poco mejor que la del modelo antes mencionado (R²=0,64, p<0,05). Está claro que su aplicabilidad está adaptada a un ecosistema acuático tropical de montaña, específicamente al embalse de RGII. En este sentido, resulta más consecuente el uso de este último modelo para estimar los valores de K₆₀₀ a partir de valores conocidos de U₁₀ en el embalse de RGII.

Temperaturas superficiales estimadas con MODIS Terra

Al final del proceso de selección de imágenes se encontraron 8 productos MODIS Terra de día para las fechas en que hubo mediciones de campo del proyecto GEITRO (2012). Para cada una de esas fechas se dedujeron las temperaturas superficiales sobre los puntos de control R2, R4, R7 y R8 (disponibles con datos de campo de flujos difusivos según los reportados por el Proyecto GEITRO (2012)). La Figura 4 muestra el resultado de este proceso.

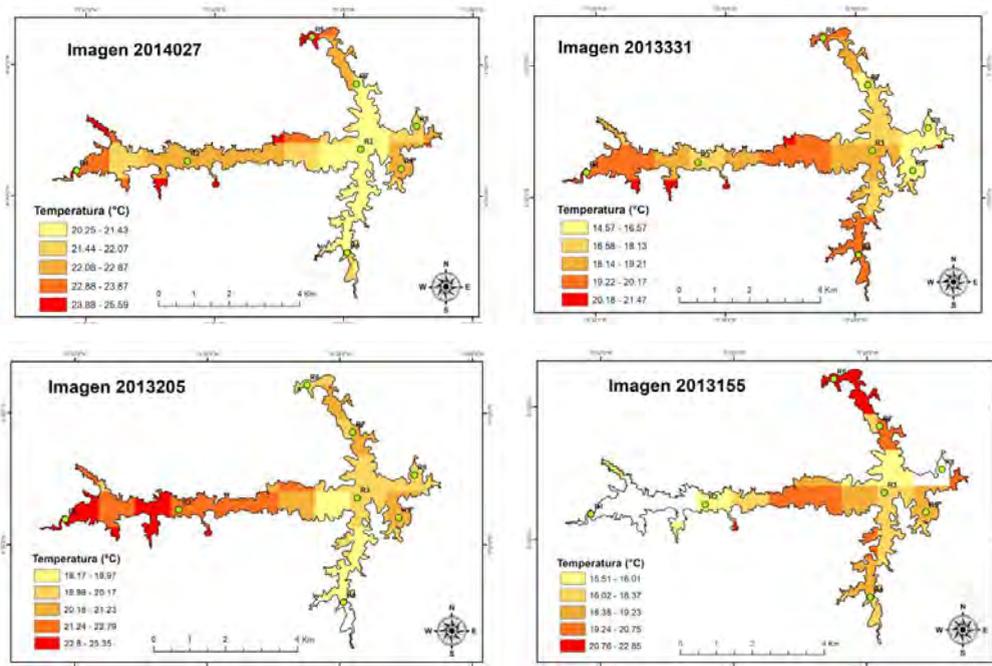


Figura 4. Imágenes del embalse RGII obtenidas de día por el sensor remoto MODIS Terra en diferentes fechas.

Fuente: Autores

Los valores de temperatura deducidos a partir de imágenes MODIS se correlacionaron con los datos de temperatura superficial medidos en campo. La Figura 5 muestra el resultado de dicha correlación. Este resultado ($R^2=0,87$; $p<0,05$), demuestra la buena precisión que presenta el sensor en MODIS Terra para la adquisición de este tipo de información, sobre ecosistemas acuáticos continentales,

particularmente en zonas tropicales de alta montaña, como es el caso de RGII. Estos resultados permiten concluir que los posibles errores sobre la estimación de flujos de CO_2 en el embalse RGII tienen una mayor relación con el uso de los modelos antes descritos, que con la pequeña diferencia entre los datos de temperaturas medidos en campo y estimados por teledetección.

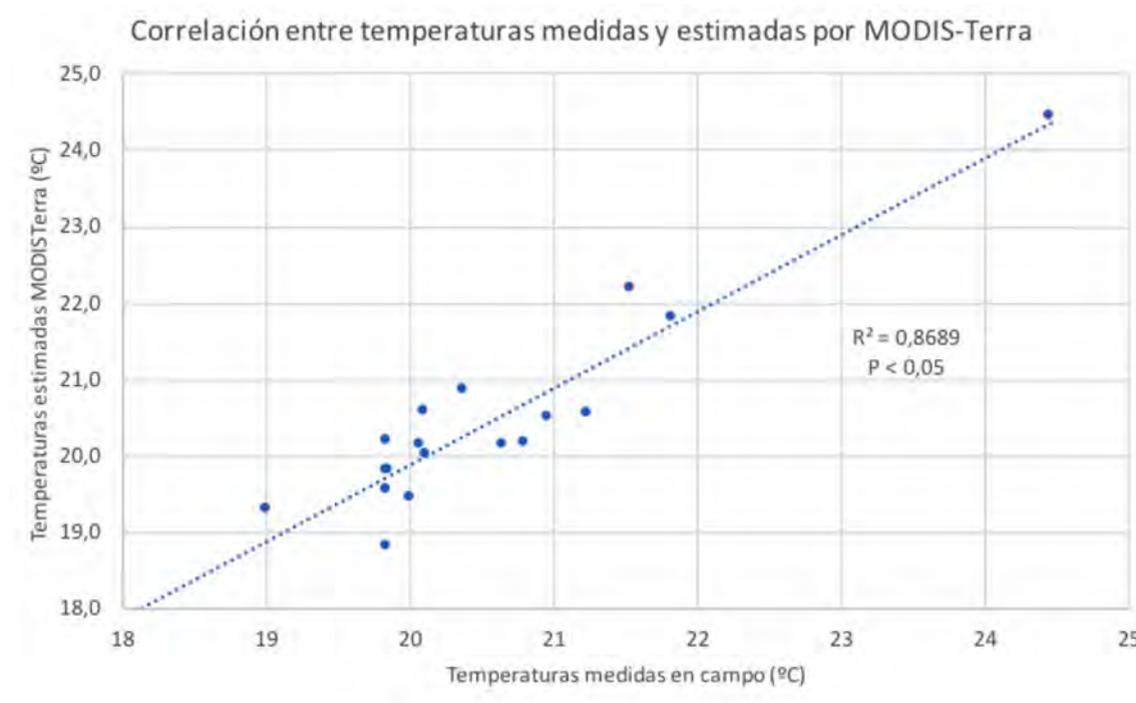


Figura 5. Correlación entre temperaturas medidas en campo por el proyecto GEITRO (2012) y temperaturas estimadas a partir de satélite MODISTerra.

Fuente: Autores.

Validación de los modelos propuestos y estimación de flujos difusivos de CO_2 a partir de temperaturas superficiales con MODIS Terra

Con base en la información de campo y en el análisis de resultados disponibles para el embalse RGII, junto con la aplicación de los modelos ajustados para la estimación de concentraciones superficiales de CO_2 a partir de temperaturas superficiales, y para la

estimación de K_{600} (lo que lleva a encontrar valores ajustados del coeficiente de velocidad de transferencia de este biogás ($k_{g,T}$)), se han estimado los flujos difusivos de CO_2 ($F(CO_2)$) sobre el embalse a dos niveles diferentes: i) estimación de flujos con el propósito de validar los modelos propuestos; y, ii) estimación de los flujos empleando los datos de temperaturas superficiales deducidos a partir de imágenes satelitales del MODIS Terra.

En el primer caso, se llevó a cabo la estimación de flujos difusivos de CO₂ (F(CO₂)) a partir del modelo deducido para concentraciones superficiales en el marco de esta investigación (Ecuación 12), y del modelo propuesto para la estimación de K₆₀₀ (Ecuación 13), con el fin de establecer la correlación y consecuente grado

de error que presentan estos modelos al comparar sus resultados de estimaciones de flujos con relación a los flujos calculados a partir de los datos de campo ampliamente descritos en este documento por el proyecto GEITRO (2012). La Figura 6 muestra la correlación entre ambas variables.

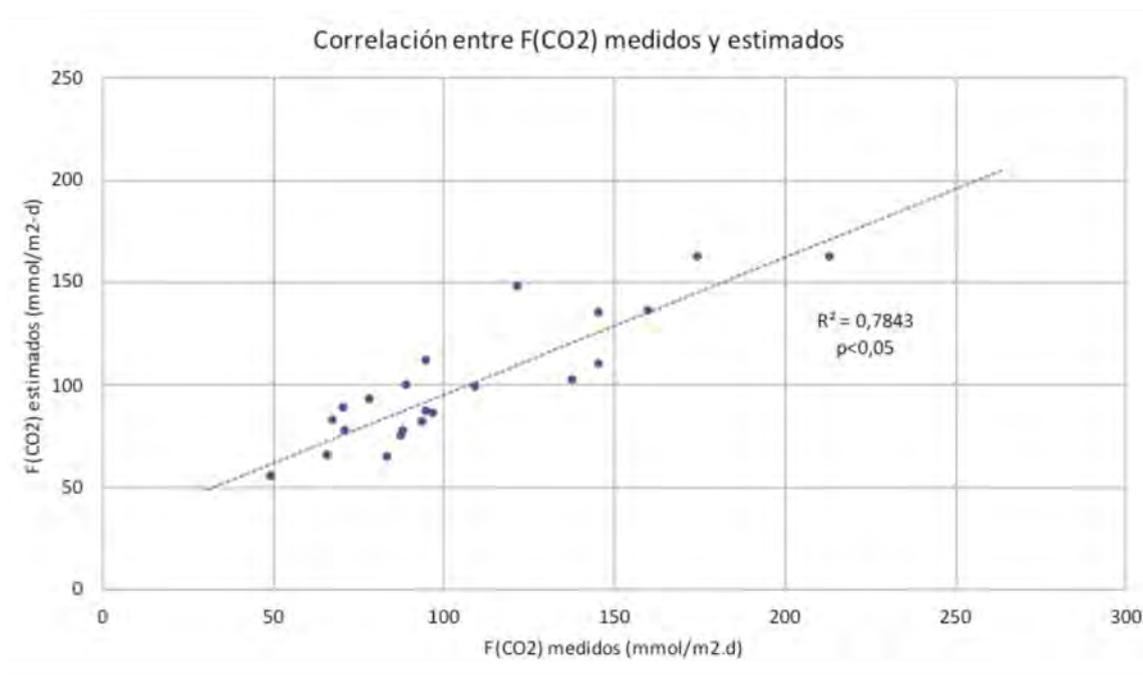


Figura 6. Correlación entre los flujos difusivos (F (CO₂)) medidos en campo y los flujos difusivos (F (CO₂)) estimados a partir de los modelos de las Ecuaciones 12 y 13.

Fuente: autores.

Al observar la Figura 6 se puede concluir que la aplicación de los modelos usados en el marco de esta investigación, han permitido reproducir de manera más que aceptable ($R^2 = 0,78$; $p < 0,05$, y con un error relativo sobre el conjunto de datos de $15 \pm 0,07\%$ en promedio), los flujos difusivos de CO₂ medidos en el embalse de RGII entre los años 2012 y 2014.

Para el segundo caso, los resultados antes presentados ofrecen la confiabilidad necesaria para emplear las temperaturas superficiales medidas por MODIS Terra para la estimación

de los flujos difusivos sobre el embalse. En este caso se aplicó la misma metodología anterior: a partir de los modelos propuestos en las ecuaciones 11 y 12, se estimaron los valores de concentraciones superficiales de CO₂ y K₆₀₀. Estos resultados fueron posteriormente usados en las ecuaciones 4 y 1 para obtener los valores de K_{g,T} y, finalmente F(CO₂), respectivamente. La Figura 7 muestra el resultado de la correlación obtenida después este proceso.

De la Figura 7 se puede concluir que, si bien la correlación encontrada ($R^2 = 0,71$; $p < 0,05$)

entre los flujos estimados a partir de los modelos propuestos, los cuales hacen uso de las temperaturas superficiales obtenidas con datos del satélite MODIS Terra, esta es inferior a la correlación encontrada en el proceso de validación de dicho modelo (Figura 6); estos resultados siguen siendo bastante aceptables. El uso de las temperaturas superficiales

observadas por MODIS Terra usadas en la Ecuación 3 para la estimación del número de Schmidt, posteriormente K_{600} y finalmente $K_{g,T}$; puede ser aceptado para la estimación de $F(\text{CO}_2)$ a partir de la diferencia de concentraciones superficiales de CO_2 y la concentraciones del gas al equilibrio con la atmósfera, junto con el $K_{g,T}$ según la ecuación 1.

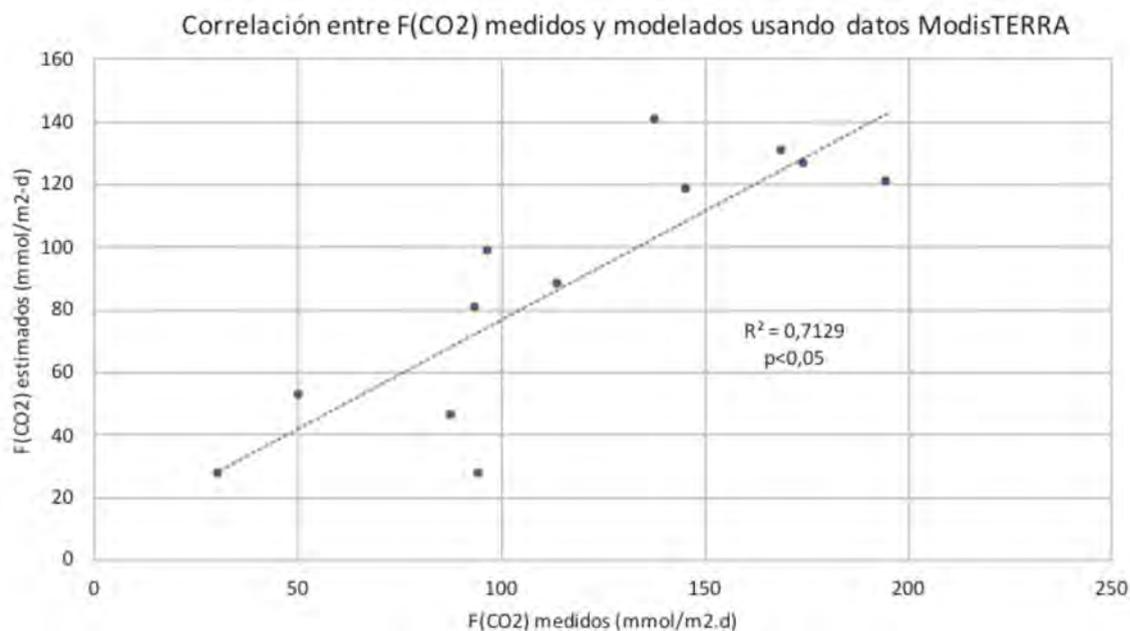


Figura 7. Correlación entre los flujos difusivos ($F(\text{CO}_2)$) medidos en campo y los flujos difusivos ($F(\text{CO}_2)$) estimados a partir de los modelos de las Ecuaciones 3.1 y 3.2 donde las temperaturas superficiales corresponden a las observadas por el Satélite MODIS-Terra.

Fuente: autores.

4. CONCLUSIONES

En la actualidad, no se conocen en su totalidad los aportes de emisiones de CO_2 en embalses tropicales; sin embargo, diversos estudios (Guérin y Abril, 2007; Guérin et al., 2008, entre otros) sugieren que los embalses pueden contribuir en un 4% de las emisiones globales de origen antrópico de CO_2 , magnitud que no es despreciable y que amerita una cuantificación más precisa para, así mismo, ajustar mejor los balances globales de carbono propuestos por el mismo IPCC.

El IPCC (2011), junto con otra serie de estudios, tales como Raymond et al. (2013) y Werhli, B (2013), sostienen que existen muy pocas mediciones en regiones tropicales, no solo a nivel de embalses, sino a nivel de ecosistemas acuáticos en general y que, por el momento, la poca información disponible resulta insuficiente para determinar alguna conclusión relacionada con los aportes de emisiones de GEI a partir de dichas regiones. Si bien hasta el momento han existido importantes esfuerzos con el

fin de aportar conocimiento en dicho dominio, los cuales están representados en los estudios como los desarrollados por Guérin y Abril (2007) y Guérin et al., (2007) sobre el embalse de Petit-Saut en Guyana francesa, Kemenes et al., 2007; Kemenes et al., 2011 en la represa de Balbina en Brasil, Chanudet et al., (2011) en los embalses de Nam Ngum y Nam Leuk, Fearnside (2016); Fearnside (2009) y Demarty y Bastien (2011) en diferentes embalses tropicales, que son alternativas necesarias, aunque insuficientes, para determinar con precisión la contribución de emisiones de GEI de embalses en el trópico. Los elevados costos ligados al desarrollo de trabajos de campo periódicos, compra y mantenimiento de equipos de medición, tomas y análisis de muestras, entre otros, dificultan la ejecución el desarrollo de esta labor. En este sentido, se hace inminente el desarrollo de modelos que permitan estimar de forma acertada el conjunto de emisiones de estos ecosistemas a partir de información que sea accesible por medio de sensores remotos (estaciones de medición en tiempo real, teledetección, etc.).

En este sentido, este estudio tuvo como objetivo fundamental aplicar el uso de imágenes satelitales en diferentes modelos para reconstituir flujos difusivos de CO₂ medidos en campo sobre el embalse de Riogrande II (RGII) y poder así concluir sobre la viabilidad del uso de este tipo de tecnologías en la estimación de tales emisiones de este biogás en ecosistemas acuático tropicales.

Como resultado de esta investigación, se ha propuesto un modelo para estimar concentraciones superficiales de CO₂ aprovechando la relación que existe entre este parámetro y la variación de las temperaturas superficiales del agua. A nuestro conocimiento, esta sería la primera vez que se reporta un modelo de estas características para un ecosistema acuático tropical de alta montaña. Asimismo, se ha logrado evaluar diferentes modelos reportados

en la literatura y proponer un modelo propio para la estimación del coeficiente de velocidad de transferencia normalizado sobre número de Schmidt de 600 (K₆₀₀), lo que conlleva estimar, de manera consecuente, los coeficientes de velocidad de transferencia (k_{g,T}) para el CO₂ en el embalse de RGII. El hecho de proponer un modelo propio para estimar K₆₀₀ a partir de su relación ampliamente documentada con valores de velocidad del viento (U₁₀), surge de la baja precisión que tuvieron dichos modelos al intentar representar los valores de K₆₀₀ medidos en campo. Dicho modelo, presentado en la Ecuación 12, presentó una correlación ligeramente superior a la propuesta por Guérin et al. (2007) (R²=0,64), por lo que se ha aceptado como una solución más ajustada para la modelación del comportamiento del sistema de RGII.

Estando en capacidad de estimar concentraciones superficiales de CO₂, concentraciones al equilibrio con la atmósfera y el cuerpo de agua, así como los coeficiente de velocidad de transferencia del CO₂ (k_{g,T}), fue posible modelar los flujos difusivos del biogás (F(CO₂)) según la Ecuación 1, para las fechas en que dichos flujos fueron medidos por el proyecto GEITRO (2012), lo que ha permitido establecer, en consecuencia, el dominio de validez de los dos modelos desarrollados en el marco de esta investigación y que vienen de ser discutidos. Los resultados presentados permiten concluir que los modelos propuestos logran reproducir de manera más que aceptable (R² =0,78, con un error relativo sobre el conjunto de datos de 15 ± 0,07% en promedio), los flujos difusivos de CO₂ medidos en el embalse de RGII entre los años 2012 y 2014.

Teniendo en cuenta los resultados antes expuestos, fue posible emplear las temperaturas superficiales medidas por MODIS Terra para la estimación de los flujos difusivos de CO₂ sobre el embalse. Los resultados fueron satisfactorios en la medida en que la correlación

obtenida después este proceso entre los flujos estimados a partir de los modelos propuestos, los cuales hacen uso de las temperaturas superficiales obtenidas a partir de satélite MODIS-Terra fue de $R^2=0,71$. Si bien esta correlación resultó inferior a la correlación encontrada en el proceso de validación de los modelos, estos resultados siguen siendo aceptables.

Se ha logrado demostrar que, de forma global, el uso de las temperaturas superficiales observadas por MODIS-Terra para la estimación del número de Schmidt, a partir del cual es posible estimar los valores de K_{600} usando el modelo desarrollado en el marco de este estudio, para finalmente calcular valores de $k_{g,T}$; así como el uso de esas mismas temperaturas para la estimación de concentraciones superficiales de CO_2 mediante la aplicación del modelo propuesto en esta investigación, puede ser aceptado para la estimación de flujos difusivos de este biogás ($F(CO_2)$). Queda entendido que los valores de velocidad del viento (U_{10}) utilizados en el marco de esta investigación y necesarios para la estimación de K_{600} , fueron aquellos medidos en campo por la estación meteorológica dispuesta por el proyecto GEITRO. Sin embargo, dependiendo del lugar de la zona de estudio, estos valores de velocidad del viento pueden ser medidos por otros tipos de medio remotos como AEOLUS (ESA, 2018) o por estaciones de las redes meteorológicas nacionales o locales, con lo cual, se reduciría la necesidad de medir esta variable en campo. No fue objeto de esta investigación el evaluar otras fuentes de información que aporten velocidades de viento. El asunto queda entonces planteado como expectativa para otras investigaciones relacionadas.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer autor: Dirección de la investigación, redacción, edición y revisión del artículo. **Segundo autor:** análisis de datos y generación de información en general.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira por disponer los recursos económicos y logísticos para la realización de esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Borges, A.V., Vanderborght, J.P., Schiettecatte, L.S., Gazeau, F., Ferron-Smith, S., Delille, B., Frankignoulle, M., (2004). Variability of the gas transfer velocity of CO_2 in a macrotidal estuary (the Scheldt). *Estuaries* 27, 593–603.
- Chanudet, V., S. Descloux, A. Harby, H. Sundt, B. H. Hansen, O. Brakstad, D. Serca and F. Guerin. (2011). Gross CO_2 and CH_4 emissions from the Nam Ngum and Nam Leuk sub-tropical reservoirs in Lao PDR. *Science of the Total Environment*, 409, 5382-5391. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.09.018>
- Cole, J.J., Caraco, N.F., (1998). Atmospheric exchange of carbon dioxide in a low-wind oligotrophic lake measured by the addition of SF_6 . *Limnology and Oceanography*, 43, 647–656.
- Crusius, J., Wanninkhof, R., (2003). Gas transfer velocities measured at low wind speed over a lake. *Limnol. Oceanography*, 48, 1010–1017. <https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.3.1010>
- Demarty, M. y Bastien. (2011). Annual follow-up of gross diffusive carbon dioxide and methane emissions from a boreal reservoir and two nearby lake in Quebec, Canada. *Biogeosciences*, 8, 41–53. <https://doi.org/10.5194/bg-8-41-2011>
- Dwyer, J., y Schmidt, G. (2006). The MODIS Reprojection Tool. In J. J. Qu, W. Gao, M. Kafatos, R. E. Murphy, & V. V. Salomonson (Eds.), *Earth Science Satellite Remote Sensing: Vol. 2: Data, Computational Processing, and Tools* (pp. 162–177). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-37294-3_9
- Fearnside, P. (2016). Greenhouse gas emissions from Brazil's Amazonian hydroelectric dams. *Environmental Research Letters*, 11, 011002.
- Fearnside, P. (2009). As Hidrelétricas de Belo Monte e Altamira (Babaquara) como Fontes de Gases de Efeito Estufa. *Novos Cadernos NAEA*, 12(2), 5-56. <http://dx.doi.org/10.5801/ncn.v12i2.315>

- Fisher, G. H. (2013). *Science writers' guide to TERRA*. NASA Technical Reports Server (NTRS). Retrieved from http://terra.nasa.gov/Publications/terra_sw_guide.pdf
- GEITRO (2012). Cuantificación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Embalses Tropicales: Caso de Riogrande II en Colombia. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.
- Guérin, F. y Abril, G. (2007). Significance of pelagic aerobic methane oxidation in the methane and carbon budget of a tropical reservoir. *Journal of Geophysical Research Biogeosciences*, 112 (G3), 14. <https://doi.org/10.1029/2006JG000393>
- Guérin, F., Abril, G., Serça, D., Delon, C., Richard, S., Delmas, R., Tremblay, A., and Varfalvy, L., (2007). Gas transfer velocities of CO₂ and CH₄ in a tropical reservoir and its river downstream. *Journal of Marine Systems*, 66, 161-172. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2006.03.019>
- Guérin, F., G. Abril, A. de Junet and M.-P. Bonnet. (2008). Anaerobic decomposition of tropical soils and plant material: Implication for the CO₂ and CH₄ budget of the Petit Saut Reservoir, *Applied Geochemistry*, 23(8), 2272-2283. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2008.04.001>
- IPCC (2011). *Hydropower Chapter, Special Report on Renewable Energy Sources*.
- Jähne, B. M. (1987). On parameters influencing air-water exchange. *Journal of Geophysical Rese*, 92(C2). <https://doi.org/10.1029/JC092iC02p01937>
- Kemenes, A., Forsberg, B. R., and Melack, J. M., (2007). Methane release below a tropical hydroelectric dam. *Geophysical Research Letters*, 34, L12809. <https://doi.org/10.1029/2007GL029479>
- Kemenes, A., Forsberg, B.R., Melack, J.M., (2011). CO₂ emissions from a tropical hydroelectric reservoir (Balbina, Brazil). *Journal of Geophysical Research* 116, G3. <https://doi.org/10.1029/2010JG001465>
- Li, S. (2018). CO₂ oversaturation and degassing using chambers and a new gas transfer velocity model from the Gorges Reservoir surface. *Science of the Total Environment*, 640-641, 908-920. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.345>
- McGillis, W.R., Edson, J.B., Hare, J.E., Fairall, C.W., 2001. Direct covariance air-sea CO₂ fluxes. *Journal of Geophysical Research Oceans*, 106, 16729-16745. <https://doi.org/10.1029/2000JC000506>
- Raymond, P., Hartmann, J., Lauerwald, R., Sobek, S., McDonald, C., Hoover, M., Guth, P. (2013). Global Carbon Dioxide Emissions From Inland Waters. *Nature*, 503(7476), 355-359. <https://doi.org/10.1038/nature12760>
- Raymond, P.A., Cole, J.J. (2001). Gas exchange in rivers and estuaries: choosing a gas transfer velocity. *Estuaries*, 24(2), 312-317. <https://doi.org/10.2307/1352954>
- Stephens, M. P., Samuels, G., Olson, D. B., Fine, R. A., Takahashi, T. . (1995). Sea-air flux of CO₂ in the North Pacific using shipboard and satellite data. *Journal of Geophysical Research*, 100(C7), 13,583. <https://doi.org/10.1029/95JC00901>
- Wan, Z. (2013). Collection-6 MODIS Land Surface Temperature Products Users' Guide. Santa Barbara: ERI, University of California.
- Wang, W., Liang, S., & Meyers, T. (2008). Validating MODIS land surface temperature products using long-term nighttime ground measurements. *Remote Sensing of Environment*, 112(3), 623-635. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.05.024>
- Wanninkhof, R. (1992). Relationship between gas exchange and wind speed over the ocean. *Journal of Geophysical Research*, 97, 7373-7382. <https://doi.org/10.1029/92JC00188>
- Werhli, B. (2013). Conduits of the carbon cycle. *Nature*, 503, 346-347. <https://doi.org/10.1038/503346a>

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 11 (2) año 2020

RIAA (2020b). Revisores Académicos de los artículos publicados en el Volúmen 11, Número 2 de la Revista de Investigación Agraria y Ambiental – RIAA, Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Ojeda G. & Bonilla M. (Dir. Ed.). Comité Editorial: Sardans, J., Perfect, E., Bachmann, J., Sobral, A., Figueiredo, E., Domene, X., Gandini, M., Bessa, F., Zúñiga, H., Abanto, C., Rodríguez, S., Bacca, R., Fernández, F., Vargas, J., Jaimes, E., Pulido, M. e-ISSN-2145-6453. Revisor: [nombre], pp 7.

ÁREA AGRÍCOLA

Guzmán-Sánchez, R. F., Beltrán-Perafán, J.A., Montes-Rojas, C. Anaya-Flórez, M.A. (2020). Efecto del abono orgánico líquido mineralizado en la producción y composición de forrajes para pastoreo. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(2), 13-27. <https://doi.org/10.22490/21456453.3065>

López-Castaño, H.F., Almeida-Braga, J., Oliveira, M.B. (2020). Análisis de variables productivas y socioempresariales de productores de aguacate hass de dos municipios del Cauca para la creación de indicadores para la toma de decisiones del sector rural. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(2), 29-41. <https://doi.org/10.22490/21456453.3159>

Crespo-González, J.J., Ruiz-Villadiego, O.S., Ospino Villalba, K.S. (2020). Determinación de nitrógeno foliar en palma de aceite con espectroscopía en el infrarrojo medio (MIR) y cercano (NIR) por el método de regresión de mínimos cuadrados parciales de componentes principales (PLS). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(2), 43-57. <https://doi.org/10.22490/21456453.3206>

Anda-Montaño, R.E., Portillo-Molina, R., López-Noriega, M.D., Cervantes-Rosas, M. A. (2019). Elaboración y validación de instrumento para medir prácticas sustentables que crean valor en organizaciones agrícolas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(2), 59-70. <https://doi.org/10.22490/21456453.3375>

ÁREA PECUARIA

Flórez-Delgado, D.F., Capacho-Mogollón, A.E., Quintero-Muiño, S.M., Báez-Gamboa, P. (2020). Efecto de la suplementación con ensilaje de naranja sobre la composición de la leche bovina. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(2), 71-79. <https://doi.org/10.22490/21456453.2974>

ÁREA AMBIENTAL

Arango, A.M., Dossman, M.A., Muñoz, J., Bueno, L., Arias, J.J., Camargo, J.C., Maya, J. M. (2020). Los servicios ecosistémicos desde la percepción de los productores de café de Belén de Umbria, Risaralda, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(2), 81-94. <https://doi.org/10.22490/21456453.3443>

Ceballos-Freire, A.J. (2020). Evaluación de eficiencia del sistema domiciliario para abastecimiento de agua segura, corregimiento San Fernando, Nariño. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(2), 95-115. <https://doi.org/10.22490/21456453.2985>

Echeverri-Sánchez, A., Urrutia-Cobo, N., Barona-Ramírez, S.M. (2020). Vulnerabilidad de fuentes hídricas superficiales de la cuenca del río cerrito a la contaminación difusa agrícola. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(2), 117-130. <https://doi.org/10.22490/21456453.3136>

Cuello-Salinas, M.J., Galvis-Rueda, M. (2020). Diversidad y composición de plantas vasculares en humedales del páramo Rabanal, Boyacá- Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(2), 131-146. <https://doi.org/10.22490/21456453.3425>

Meza-Castellar, R.J., González-Salcedo, L.O. (2020). Elaboración de un modelo neuronal artificial para la estimación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas marinas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(2), 147-156. <https://doi.org/10.22490/21456453.3441>

Vallejo-Morán, L.A., Dominguez-Orejuela, J., López-Villalobos, I.D., Castañeda-Sanchez, C. A. (2020). Procedimiento guía para manejo seguro de sustancias químicas en una empresa de fabricación de suelas y plantillas a base de poliuretano de la ciudad de Cali - Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(2), 157-177. <https://doi.org/10.22490/21456453.3461>

León, J.G., Rojas, M. (2020). Estimación de flujos difusivos de CO₂ en embalses tropicales mediante el uso conjunto de la teledetección, la modelación de concentraciones superficiales del gas y K600. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(2), 179-196. <https://doi.org/10.22490/21456453.3587>

INSTRUCCIONES PARA 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.

La Revista de Investigación Agraria y Ambiental (RIAA) y su misión en ser divulgadores de la investigación en áreas agrarias y las otras ciencias involucradas en las que se abarcan en todas las disciplinas dentro de las áreas de las ciencias agrarias y ambientales (OCDE) a través de artículos de investigación, estudios de casos y artículos de revisión resultantes del trabajo de los investigadores nacionales e internacionales.

Proceso de arbitraje de manuscritos

La recepción formal de artículos se hará única y exclusivamente a través de la plataforma de gestión editorial de la revista, Open Journal System – OJS (<http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/index>).

Nota: aquellos manuscritos que sean remitidos al correo electrónico no serán considerados para iniciar el proceso editorial.

El equipo de gestión editorial realiza la verificación inicial a los manuscritos postulados y revisa que estén orientados a las temáticas de RIAA y conforme a las normas de la publicación. Aquellos que no cumplan con la lista de chequeo inicial serán devueltos al autor.

Los artículos que acaten los lineamientos editoriales establecidos por la revista iniciarán la

fase de asignación de revisores. El equipo editorial seleccionará expertos en el tema para que evalúe el manuscrito bajo la modalidad de doble ciego. Estos expertos serán académicos, especialistas o árbitros *ad hoc* de reconocida credibilidad en el ámbito nacional y/o internacional. Los revisores dictaminarán sobre originalidad, relevancia, pertinencia y contenido y registrarán su decisión en el Formato para concepto de evaluación. En caso de obtener evaluaciones positivas, se le notificará al autor para que incorpore dichas observaciones y continúe dentro del proceso editorial.

Una vez adaptado el artículo, el autor deberá remitirlo nuevamente al equipo editorial, dentro de los plazos establecidos para ello, junto con una comunicación especificando las modificaciones efectuadas y cuáles no, indicando los motivos de la negativa. En caso de que un artículo obtenga un concepto favorable y otro desfavorable, será un integrante el comité editorial y/o científico el encargado de dirimir cualquier controversia y cuyo concepto y recomendación editorial será definitiva. 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).

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.

Tipología de manuscritos

La RIAA admite las siguientes tipologías de artículos:

Artículo de investigación: se asocia a la divulgación de productos de investigación en sentido estricto. Su estructura debe contar con:

- Introducción
- Materiales Y Métodos
- Resultados y Discusión
- Conclusiones
- Agradecimientos
- Literatura citada

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 se propone es:

- Introducción
- Planteamiento de la temática
- Recuperación Bibliográfica
(en forma de tablas, pictogramas, mapas conceptuales entre otros)
- Discusión De Los Hallazgos
- Conclusiones
- Agradecimientos
- Literatura Citada

La postulación formal de los artículos de revisión estará sujeta al previo análisis y verificación de la temática y pertinencia del asunto abordado por parte del equipo editorial. En ese sentido, la carta para la solicitud de publicación del artículo de revisión se recibirá de manera inicial a través del correo electrónico de

la revista y una vez cuente con el respectivo aval de los editores, se le solicitará al autor realizar envío a través de OJS para el respectivo proceso editorial.

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
- 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.

La Revista de Investigación Agraria y Ambiental se acoge a la cultura de la originalidad para el desarrollo de la producción intelectual de la institución y por esta razón todos los artículos postulados serán sometidos a verificación con la herramienta **Turnitin**. En caso que el informe arroje un % de similitud superior al 30% y no derivarse de un trabajo de grado o tesis de postgrado, el equipo editorial tendrá la autonomía de retirar el artículo del proceso editorial.

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. En el apartado "Comentarios para el editor" tendrá la opción de sugerir 3 posibles evaluadores, con su respectivo nombre, afiliación institucional y correo electrónico.
6. Citas y referencias redactadas según estilo APA.
7. 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. Omite cargos, grados docentes, nombres de grupo de investigación, reconocimientos, etc.

Resumen

El resumen identifica el objetivo y expone de manera breve la metodología, los resultados y las conclusiones del estudio. No deberá exceder las 350 palabras, tampoco incluir citas bibliográficas o abreviaturas, excepto aquellas que sean ampliamente conocidas. Según sea el idioma original del manuscrito deberá incluirlo en un segundo idioma (inglés y español).

Palabras clave

Se sugiere emplear una lista de cuatro a siete palabras, presentadas en orden alfabético y separadas por punto y coma (;).

No repita palabras que se encuentren en el título. Evite el uso de palabras en plural y frases. Idealmente emplee palabras normalizadas o descriptores del tesoro AGROVOC, UNESCO y que sean aceptadas por bases de datos internacionales.

Resumen gráfico

Es una representación concisa y visual de los principales hallazgos de la investigación. Deberá permitir al lector comprender rápidamente la esencia del artículo e incentivar su lectura.

Será requisito que todos los artículos aceptados incluyan esta imagen.

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 1024 píxeles). Un ejemplo de figura:

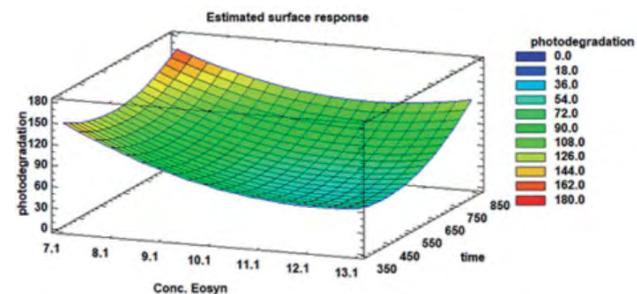


Figura 1. Título de la figura. Leyenda de la figura, el tipo de letra verdana tamaño 9. Fuente de: xx

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*.

Contribución de la autoría

En esta sección se explica cuál fue la contribución de cada autor al artículo. Ejemplo: Primer autor: Metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura – borrador original. Segundo autor: Investigación, conceptualización, análisis de datos, escritura – revisión y edición. Tercer autor: Logística, revisión y edición. Cuarto autor: análisis de datos, revisión y edición. Quinto autor: Adquisición de recursos, administrador del proyecto, supervisión, conceptualización, escritura – revisión y edición.

Agradecimientos

Esta sección se utilizará para hacer un reconocimiento a aquellas personas o instituciones que han hecho contribuciones sustanciales al trabajo o han prestado asistencia en la investigación (técnica, financiera, logística, intelectual, entre otras.). Los agradecimientos deben ir como una sección separada después de la discusión y antes de las referencias. Se incluye aquí, las referencias de los proyectos que hicieron posible el estudio.

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.

El formato de la literatura citada debe seguir la normas APA, en cuanto a citación de artículos científicos, libros, capítulos de libro, páginas Web, tesis de doctorado, maestría y pregrado, informes, reportes, etc.

Anexos

Si tiene figuras que ocupen una página completa (dos cuartillas) o información adicional relevante del estudio, pero que por su extensión no es posible situarla en el texto principal, le recomendamos que lo coloque como anexo al documento (Anexo 1, Anexo 2, etc.). 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.

*** Se sugiere que los autores usen la plantilla diseñada para los artículos presentados a la revista: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/about/submissions> ***

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 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. SUGGEST 5 POSSIBLE EVALUATORS with their respective name, affiliation and email. Add the data in the box called "Comments for the EDITOR". If you wish, you can mention the possible evaluators with whom you have a conflict of interest and who do not want you to review your manuscript.
6. references written according to APA style.
7. 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 advances 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.

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.

Format of the cited literature must follow the APA standards, in terms of citation of scientific articles, books, book chapters, Web pages, doctoral, master and undergraduate theses, reports, reports, etc.

Annexes

If you have figures that occupy a full page or additional relevant information from the study, but due to their length it is not possible to place it in the main text, we recommend to place this information as an annex to the document (Annex 1, Annex 2, etc.). This information will be linked to the web space, where your article will be hosted and, in the case of the printed version, it is managed with code QR.

*** It is suggested that the authors use the template designed for the articles submitted to the magazine:

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/ria/about/submissions>