
**REVISTA DE INVESTIGACIÓN
AGRARIA Y AMBIENTAL**

Volumen 9 Número 1 – (Enero - Junio de 2018)

ISSN 2145-6097

Revista de Investigación Agraria y Ambiental

Volumen 9 Número 1 – (Enero - Junio de 2018) – ISSN 2145-6097

CUERPO DIRECTIVO

JAI ME ALBERTO LEAL AFANADOR

Rector UNAD

CONSTANZA ABADÍA GARCÍA

Vicerrector Académica y de Investigación

LEONARDO YUNDA PERLAZA

Vicerrector de Medios y Mediaciones Pedagógicas

LEONARDO EMELETH SANCHEZ TORRES

Vicerrector de Desarrollo Regional y Proyección Comunitaria

EDGAR GUILLERMO RODRÍGUEZ

Vicerrector de Servicios a Aspirantes, Estudiantes y Egresados

LUIGI HUMBERTO LÓPEZ GUZMÁN

Vicerrector de Relaciones Internacionales

JULIALBA ÁNGEL OSORIO

Decana Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

JENNY FABIOLA HERNÁNDEZ

Líder Nacional de Investigación UNAD

YOLVI PRADA

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

GLORIA MARÍA DORIA H.

Director Editor

COMITÉ EDITORIAL

FLÁVIO VIEIRA MEIRELLES

Médico Veterinario, Ph.D.
Universidad de São Paulo

BEATRIZ EUGENIA CID AGUAYO

Socióloga, M.Sc. y Ph.D. en Sociología
Universidad de Concepción, Chile

OSCAR EMERSON ZUÑIGA MOSQUERA

Ingeniero Agrónomo, Mestro em andamento em Desenvolvimento e Meio Ambiente
Universidade Federal de Pernambuco UFPE, Brasil

OSCAR EDUARDO SANCLEMENTE REYES

Ingeniero Ambiental, M.Sc., Ph.D. en Agroecología
Universidad Nacional de Colombia

ROLANDO TITO BACCA IBARRA

Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Ph.D. en Entomología
Universidad de Nariño

COMITÉ CIENTÍFICO

HERNÁN JAIR ANDRADE CASTAÑEDA

Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Ph.D.
Universidad del Tolima

ALVEIRO SALAMANCA JIMÉNEZ

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.
University of California, Davis

ELI SABETE FIGUEIREDO

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

HENRY ZUÑIGA

Ingeniero Químico, PhD en Ingeniería Ambiental
Docente Facultad de Ingeniería Tecnológica de Antioquia

ANDRES POSSO-TERRANOVA

Evolutionary biology MSc. PhD.
Lecturer-Postdoctoral Fellow
Seed and Developmental Biology
University of Saskatchewan

Corrector de estilo

Eliana Arias Loaiza

Diseño de la portada

Andrea Díaz Escobar
Diseñadora Gráfica / Industrial
<http://andreadiazescobar.weebly.com/>

Impresión

PICTOGRAMA S.A.S.

INFORMACIÓN, CORRESPONDENCIA, SUSCRIPCIONES Y CANJE REVISTA DE INVESTIGACIÓN AGRARIA Y AMBIENTAL

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias
y del Medio Ambiente
Universidad Nacional Abierta y a Distancia
Calle 14 Sur N. 14-23 Bogotá, Colombia
Teléfonos: (571) 344 3700 ext. 1529
e-mail: riaa@unad.edu.co

La revista puede consultarse
en su versión electrónica en:
<http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/index>

PRESENTACIÓN

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

Misión

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

Público al que se dirige

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

Periodicidad

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

CESIÓN DE DERECHOS

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

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

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

INDEXACIONES

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



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



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

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

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



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

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

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

INDEXACIONES



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



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



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

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



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

INDEXACIONES

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

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



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

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

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



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



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

INDEXACIONES



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



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



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

INDEXACIONES



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



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



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

ÍNDICE

Editorial

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

13

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

Dinámica espacio-temporal del uso del suelo y su efecto sobre la degradación de los recursos hídricos: caso de la cuenca del río Juqueri – Brasil

Space-temporal dynamics of the use of the soil and its effect on the degradation of water resources: case of the basin of river Juqueri – Brazil

Diego Javier Perez Ortega, Jesus Geovanny Solarte,
Jonny Jair Pantoja Díaz & Marcelo Luiz Martins Pompêo

15

Prácticas agrícolas y riesgos a la salud por el uso de plaguicidas en agricultores subregión Mojana – Colombia

Agricultural practices and risks to health from the use of pesticides in agricultural subregion Mojana - Colombia

Candelaria Gordon Morante & José Luis Marrugo Negrete

19

Uso del suelo y su influencia en la presión y degradación de los recursos hídricos en cuencas hidrográficas

Use of soil and its influence in the pressure and degradation of water resources in hydrographic waters

Diego Javier Perez Ortega, Jorge Andres Segovia Ortega, Paulo Cesar Cabrera Moncayo, Iván Andrés Delgado Vargas & Marcelo Luiz Martins Pompêo

41

Validación de un modelo matemático para la predicción de la fermentación y secado del grano de cacao

Validation of mathematical model for the prediction of fermentation and drying of the cocoa bean

Carlos Arturo Mejía Córdoba

59

Influence of cut, packaging and storage temperature on physicochemical aspects of minimally processed Carica papaya cv. 'Formosa'

Influencia del corte, envasado y temperatura de almacenamiento sobre aspectos físicoquímicos en Carica papaya cv. 'Formosa' mínimamente processada

Paula Cristina Carvalho Lima, Bianca Sarzi de Souza & Selina Fyfe

71

Los compuestos fenólicos: un acercamiento a su biosíntesis, síntesis y actividad biológica

The phenolic compounds: an approach to your biosynthesis, synthesis and biological activity

Darío Alonso Martin Gordon

81

Aproximación sistémica de la sostenibilidad en la producción de Bioetanol

Systemic approach to sustainability in the Biofuels production

Danny Ibarra Vega & Gerard Olivar Tost

105

Exigencias nutricionales de proteína bruta y energía metabolizable para pollos de engorde

Nutritional requirements of crude protein and metabolizable energy for broilers

Diana M Torres-Novoa

115

Evaluación del recurso hídrico superficial en la subcuenca hidrográfica del río Frío en el Departamento de Cundinamarca: oferta, demanda y calidad del agua

Evaluation of the surface water resource in the hydrographic subbasin of the Frío river in Cundinamarca's department: offer, demand and quality of the wáter

Melissa Andrea Hoyos Chaverra, Denisse Ariana Rodríguez Barrientos & Jesús Ernesto Torres Quintero

127

An environmental noise study in the industrial, commercial, residential areas and arterial roads in western Bogotá, Colombia

Un estudio de ruido ambiental en el sector industrial, áreas comerciales, residenciales y arteriales en el oeste de Bogotá, Colombia

Marco Andrés Guevara Luna & Fredy Alejandro Guevara Luna

137

ÍNDICE

Evaluación de una estrategia centralizada y una descentralizada para el control de contaminación en cuerpos hídricos

Evaluation of a centralized and a decentralized strategy for the control of contamination in water bodies

Ángela Vanessa Polanía Janzasoy & Luisa Fernanda Calderón-Vallejo

145

Validación de un instrumento de investigación para el diseño de una metodología de autoevaluación del sistema de gestión ambiental

Validation of a research instrument for the design of a self-assessment methodology for the environmental management system

Héctor Andrés Hernández & Alina Eugenia Pascual Barrera

157

DOCUMENTOS DE TRABAJO

Contaminación odorífera: causas, efectos y posibles soluciones a una contaminación invisible

Odoriferous pollution: causes, effects and possible solutions for an imperceptible pollution

Jaidith Marisol Ramos Rincón, Angye Bermudez & Tania Rojas

165

Compilación y análisis de diseños arquitectónicos con cavidades para incluir la fauna nativa en los ambientes urbanos

Compilation and analysis of architectural designs with cavities to include native fauna in urban environments

Xavier Eduardo Ruiz Cruz

181

Cómo citar los artículos publicados en el Volumen 9 Número 1 – (Enero - Junio de 2018)

187

Instrucciones para los Autores

189

EDITORIAL

Uno de los aspectos más significativos que es considerado por la entidad reguladora colombiana Publindex COLCIENCIAS en términos de publicación científica, se encuentra los denominadas *Bases Bibliográficas con Comité de Selección (BBCS)*, los cuales son definidos dentro del documento del Servicios de Indexación y Resumen –SIR “*Índices bibliográficos centran su objeto en la selección de artículos de investigación publicados en revistas arbitradas; poseen un comité de selección, encargado de verificar la pertinencia con respecto al interés temático de la base y la calidad de los artículos, así como el cumplimiento de las normas editoriales internacionales exigidas para la publicación de artículos científicos*”. Dentro de los resultados obtenidos en la convocatoria 768 según reporta la misma entidad, solo el 54.26% cumplen con dicho criterio, por lo que genera planes de mejora tales como talleres formativos, asesorías en escritura del inglés, encuentros de editores, promover la fusión de revistas, compromisos de la entidad que patrocina la publicación entre otras con la finalidad de poder mejorar dichas cifras para las convocatorias venideras.

La **Revista de Investigación Agraria y Ambiental (RIAA)** publicación oficial de la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA) de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), con su nuevo equipo de trabajo, ha realizado un proceso de reestructuración, con miras al mejoramiento de sus procesos editoriales que permitan cumplir con los requerimientos solicitados por COLCIENCIAS, a la fecha RIAA esta clasificada en C, premiada por Rev Sapiens por su visibilidad internacional y además esta en la apuesta del desarrollo de planes de mejoramiento propuestos por COLCIENCIAS y haciendo gestión desde la edición en jefe de la revista para poder incorporarse *BBCS*, de alto impacto internacional, RIAA se proyecta a corto plazo mejorar sus prácticas editoriales en términos de visibilidad y respuesta que permita seguir siendo una de las mejores opciones en el área agrícola y ambiental.

En ese orden de ideas, RIAA tiene la satisfacción de presentar a sus lectores de la comunidad científica y académica la primera entrega de su volumen 9, el cual contiene 12 artículos originales e inéditos en el campo de las ciencias agrarias y ambientales, así como 2 Documentos de trabajo en estas mismas áreas.

Siendo esta la oportunidad de reconocer el compromiso editorial de los autores participantes en esta edición quienes con su valiosa contribución han hecho posible la publicación exitosa de este reciente número; así como la disposición y rigurosidad de los revisores, quienes aportan calidad y excelencia a través de sus observaciones y recomendaciones.

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

Margarita Bonilla
Coeditora- Coeditor

EDITORIAL

One of the most significant aspects that is considered by the Colombian regulatory entity Publindex COLCIENCIAS in terms of scientific publication, is the so-called *Bibliographic Bases with Selection Committee* (BBCS), which are defined within the document of the Indexing and Summary Services - SIR "bibliographic indexes focus on the selection of research articles published in peer-reviewed journals; they have a selection committee, in charge of verifying the pertinence with respect to the thematic interest of the base and the quality of the articles, as well as compliance with the international editorial standards required for the publication of scientific articles. " Within the results obtained in the call 768 as reported by the same entity, only 54.26% meet this criterion, so it generates improvement plans such as training workshops, English writing consultancies, editor's meetings, promote the merger of journals, commitments of the entity that sponsors the publication among others with the purpose of being able to improve these figures for future calls.

The *Journal of Agrarian and Environmental Research (RIAA)*, official publication of the School of Agricultural, Livestock and Environment Sciences (ECAPMA) of the National Open and Distance University (UNAD), with its new work team, has carried out a process of restructuring, with a view to improving its editorial processes to meet the requirements requested by COLCIENCIAS, to date RIAA is classified in C, awarded by *Rev Sapiens* for its international visibility and is also committed to the development of proposed improvement plans by COLCIENCIAS and managing from the magazine's main edition to be able to join BBCS, with a high international impact, RIAA plans to improve its editorial practices in terms of visibility and response in the short term, which will allow it to remain one of the best options in the agricultural and environmental area.

In this order of ideas, RIAA has the satisfaction of presenting to its readers of the scientific and academic community the first delivery of its volume 9, which contains 12 original and unpublished articles in the field of agrarian and environmental sciences, as well as 2 Working documents in these same areas.

This being the opportunity to recognize the editorial commitment of the participating authors in this edition who with their valuable contribution have made possible the successful publication of this recent issue; as well as the disposition and rigor of the reviewers, who contribute quality and excellence through their observations and recommendations.

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

Margarita Bonilla
Coeditora- Coeditor

DINÁMICA ESPACIO-TEMPORAL DEL USO DEL SUELO Y SU EFECTO SOBRE LA DEGRADACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS: CASO DE LA CUENCA DEL RÍO JUQUERI – BRASIL

SPACE-TEMPORAL DYNAMICS OF THE USE OF LAND AND ITS EFFECT ON THE DEGRADATION OF WATER RESOURCES: CASE OF THE JUQUERI RIVER BASIN – BRAZIL

Diego Javier Perez Ortega ¹

Jesus Geovanny Solarte ²

Jonny Jair Pantoja Díaz ³

Marcelo Luiz Martins Pompêo ⁴

¹ Doctor en Ciencias Ambientales. Universidad de Nariño. Colombia.

² Magister en Ingeniería Ambiental. Universidad de Nariño. Colombia.

³ Estudiante de Maestría. Universidad de Nariño. Colombia.

⁴ Doctor en Ciencias de la Ingeniería Ambiental.

¹ diegojperez77@gmail.com

² solarteg@hotmail.com

³ jonny912@javerianacali.edu.co

⁴ mpompeo@ib.usp.br

Resumen

Los cambios en los usos del suelo influyen el paisaje de una cuenca. Las transformaciones provocadas por las actividades antrópicas, generan impactos en sus recursos naturales. Estos pueden ser identificados para generar mitigaciones futuras mediante el monitoreo de la cobertura del suelo. Este trabajo presenta un análisis espacio-temporal de la dinámica del uso del suelo de la cuenca del río Juqueri, partiendo de la clasificación de imágenes satelitales de sensores LANDSAT 5, 7 y 8 de los años

1986, 1992, 2003, 2011 y 2016, usando metodologías de máxima verosimilitud, álgebra de mapas y procesamiento digital, mediante el software ArcGIS 10.3. Los resultados mostraron una transición ambiental negativa, con la sustitución progresiva de las áreas de vegetación por pastos, agricultura y suelos expuestos, además de un rápido crecimiento de áreas urbanas. La clase predominante es el bosque nativo debido a la existencia de la Ley de Protección de Manantiales de Brasil (Ley Estatal

9.866/97) que ha ayudado en la conservación de esta clase. Infortunadamente, al transcurrir del tiempo, los bosques fueron fragmentados y disminuidos un 15,88 % y el área urbana aumentó en 13,49%, disminuyendo también el área de los recursos hídricos en 0,42% cuando se compararon los valores de los años de 1986 y 2016. Según el Índice de Transformación Antrópica (ITA), la cuenca se clasificó como *Regularmente Degradada*, mostrando una fuerte presión y degradación ambiental sobre sus recursos hídricos.

Palabras clave: actividades antrópicas, degradación ambiental, geoprocésamiento, paisaje.

Abstract

The changes in land-use influence the landscape of a basin. The transformations caused by the anthropic activities generate impacts on their natural resources. These can be identified to generate future mitigations by monitoring ground cover. This paper presents a spatio-temporal analysis of the dynamics in the land-use of the Juqueri River

basin, based on the classification of satellite images of LANDSAT sensors 5, 7 and 8 of the years 1986, 1992, 2003, 2011 and 2016, using methodologies of maximum likelihood, map algebra and digital processing with ArcGIS 10.3 software. The results showed a negative environmental transition with the progressive substitution of vegetation in grassland, agriculture and exposed soils areas, in addition to a rapid growth of urban regions. The predominant class is native forest due to the existence of the Brazilian Water Protection Act (State Law 9.866 / 97) that has helped in the conservation of this type. Unfortunately, over time, forests were fragmented and decreased by 15.88% and the urban area increased by 13.49%, while the water resources area decreased by 0.42% when compared to the values of the years of 1986 and 2016. According to the Anthropic Transformation Index (ATI), the basin was classified as *Regularly Degraded*, showing strong pressure and environmental degradation on its water resources.

Keywords: anthropic activities, environmental degradation, geoprocessing, landscape.

Introducción

La ocupación desordenada del suelo, el crecimiento demográfico, la escasez de recursos hídricos y la pérdida de suelos fértiles determinan la necesidad de generar estrategias y directrices que proporcionen aptitudes (destrezas) de los ecosistemas con los usos y ocupaciones de los suelos para ser capaces de mantener la biodiversidad y su sostenibilidad a largo plazo (Leite & Matsumoto, 2007). La cuenca del río Juqueri se caracteriza por tener un valle definido encajado en su área, vegetación ciliar, una creciente ampliación del área de ocupación urbana, junto a los principales tributarios, donde predomina un grado de conservación de

vegetación secundaria, bosque nativo y un uso de suelo de agricultura de subsistencia en diferentes escalas. Además, dentro de la Cuenca del río Juqueri, se encuentra un manantial extremadamente importante para la Gran São Paulo, el embalse Paiva Castro, que también constituye una opción de descanso y turismo para los diversos habitantes de las ciudades de Mairiporã, Guarulhos, Caieiras y la zona norte del municipio de São Paulo (Giatti, 2000).

Las imágenes de satélite son de gran ayuda, ya que reunieron datos históricos para una reconstrucción ambiental del pasado

ayudando en el diagnóstico de las repercusiones que las actividades antrópicas que se ejercen en la cuenca y en específico en los recursos hídricos. Por otro lado, los Sistemas de Información Geográfica (SIG), ayudan en el análisis de esta dinámica del espacio geográfico y de su configuración, además del sensor remoto para la obtención de imágenes mediante plataformas remotas orbitales (satélites) que proporciona una cantidad de informaciones sobre la cuenca en estudio (Haddad, 2007).

Los análisis espacio-temporales sirven fundamentalmente para comprender los cambios en el uso del suelo y los fenómenos ambientales, así como las velocidades de los procesos de

degradación ambiental causados en los ecosistemas por las actividades antrópicas (Santos, 2009).

El objetivo de esta investigación fue determinar la dinámica espacio-temporal del uso del suelo y su efecto sobre la degradación de los recursos hídricos de la Cuenca del río Juqueri, realizando un diagnóstico ambiental de los impactos causados por la ocupación no planificada del espacio. Esto atribuyendo un grado de degradación sobre el paisaje modificado utilizando el Índice de Transformación Antrópica (ITA).

Materiales y métodos

En la Figura 1 se presenta la secuencia metodológica utilizada.

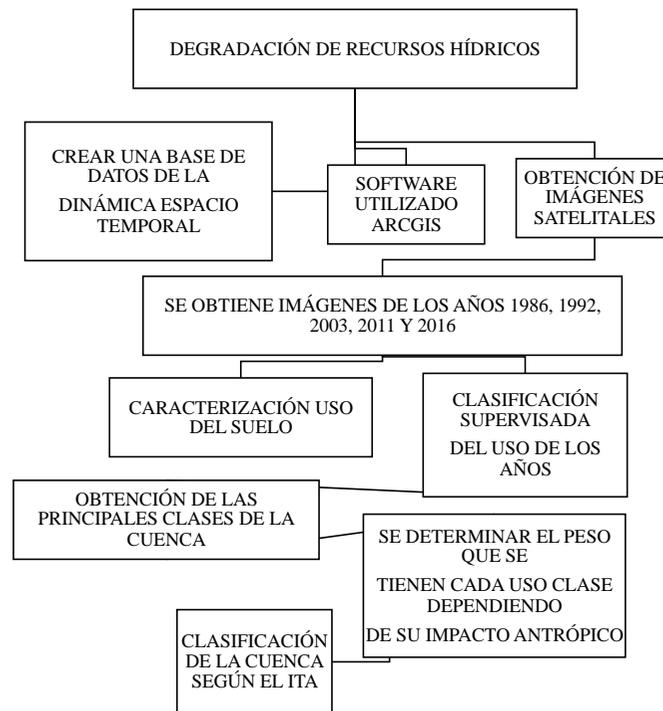


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso metodológico implementado

Localización de la Cuenca del Juqueri en el municipio de Mairiporã-SP

La localización geográfica de la cuenca del río Juqueri se encuentra en la latitud S 23°21´25" y longitud W 45°52´40", con la mayoría de su

área en el municipio de Mairiporã. Además, posee partes de los municipios como: Atibaia, Nazaré Paulista, Guarulhos, Caieiras y Franco da Rocha (Emplasa, 2000). El área de la Cuenca del río Juqueri cuenta con 307,0 km² de los

cuales 114Km² representan el área urbana, siendo que el 80,1% del total se sitúa dentro

del área de la Ley de Protección a los Manantiales (Emplasa, 2000) (Figura 2).

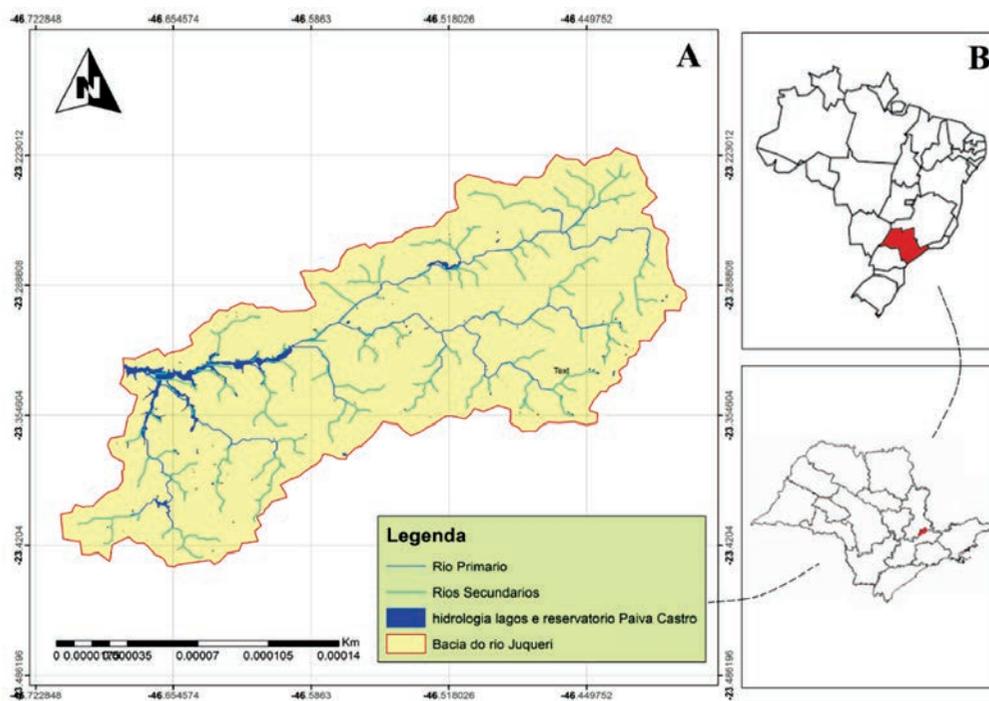


Figura 2. Localización de la Cuenca del río Juqueri (A) en Brasil y en el Estado de São Paulo (B).

Fuente: Elaboración propia.

Caracterización del uso y ocupación del suelo de la Cuenca del río Juqueri

Este análisis fue realizado utilizando unidades funcionales del paisaje del área de la cuenca, de los diferentes tipos de usos del suelo, utilizando sensores remotos, geoprocésamiento y modelación ambiental. Este método fue utilizado para el modelado espectro espacio-temporal, para la identificación del uso del suelo y los análisis de las unidades funcionales del paisaje y del área de la cuenca.

Para la elaboración de los mapas de uso del suelo de los años 1986, 1992, 2003, 2011 y 2016, se realizaron combinaciones de 3 a 8 bandas multiespectrales obtenidas de los satélites Landsat 5, 7 y 8 con sus respectivas firmas espectrales de las clases de cobertura

obtenidas en la web del Geological Survey of the United States - USGS y donde para la clasificación del área estudiada, se utilizó un método supervisado de interpretación en el Programa ArcGIS. (Tabla 1).

En cuanto a las imágenes insertadas en la base de datos, se aplicaron los procedimientos de preprocesamiento, es decir, realce de imágenes, haciendo la corrección atmosférica de esas por medio de la herramienta (*Radiance with atmospheric correction*) de ArcGIS 10.3. Al terminar la restitución de las imágenes, el paso siguiente fue obtener los valores de reflectancia para las seis clases de uso del suelo: 1) bosques; 2) cuerpos de agua; 3) pastos; 4) suelo expuesto; 5) áreas urbanas y 6) áreas agrícolas.

Tabla 1. Imágenes utilizadas para caracterizar el uso del suelo Cuenca del río Juqueri

| Año | Satélite /Sensor | Imagen de satélite/ Entity ID | Datum | UTM Zone | Panth |
|------|------------------|-------------------------------|-------|----------|-------|
| 1986 | L1-5/MSS | LT52190761986298CUB00 | WGS84 | 23 | 219 |
| 1992 | L1-5/MSS | LT52190761992206CUB00 | WGS84 | 23 | 219 |
| 2003 | LL-7/ETM | MES-23-20_LL_2003 | WGS84 | 23 | 219 |
| 2011 | L1-5/TM | LT52190762011207CUB00 | WGS84 | 23 | 219 |
| 2016 | L1-8/OLI_TIRS | LC82190762016206LGIN00 | WGS84 | 23 | 219 |

| Año | Row | Fecha de Adquisición | Fecha de obtención | File Format | Bandas |
|------|-----|----------------------|--------------------|-------------|--------|
| 1986 | 76 | 25 /10/1986 | 12/12/2014 | Geo TIFF | 1 - 4 |
| 1992 | 76 | 21 /07/1992 | 12/12/2014 | Geo TIFF | 1 - 4 |
| 2003 | 76 | 23 /09/2003 | 12/12/2014 | Geo TIFF | 1 - 7 |
| 2011 | 76 | 26 /07/2011 | 12/12/2014 | Geo TIFF | 1 - 7 |
| 2016 | 76 | 05 /07 /2016 | 11/11/2016 | Geo TIFF | 1 - 8 |

Existen errores al comparar las imágenes de diferentes sensores, debido al tipo de resoluciones. Otra diferencia notable es la reflectancia en las bandas correspondientes que cada sensor produce, ya que la clasificación visual (supervisada) cumple un papel muy importante a la hora de la clasificación del uso del suelo para cada imagen, pues por medio de técnicas de interpretación visual se generaron los resultados buscando la mayor veracidad en la clasificación final. Se presentan ciertas inconsistencias en las imágenes de los sensores Landsat de los años 1986 y 1992, pues éstas poseían un bajo contraste espectral de las áreas agrícolas con los suelos expuestos, dificultando su correcta clasificación por su semejanza. De esta forma, fue necesario realizar la delimitación de polígonos de las áreas agrícolas manualmente.

Clasificación supervisada del uso del suelo de la cuenca del río Juqueri

Para determinar la dinámica espacio-temporal de la cuenca, se utilizaron imágenes de los sensores Landsat 5, 7 y 8, donde fue necesario utilizar el sensor remoto para generar

los mapas de uso y cobertura del suelo de la cuenca de los períodos de los años 1986, 1992, 2003, 2011 y 2016. Estas imágenes mostraron las modificaciones de las clases de uso del suelo en relación al área ocupada. Ya que para esos análisis se realizó un cruce entre los mapas de uso y cobertura del suelo para así identificar los cambios de las clases obtenidas en los períodos establecidos.

Uso de suelos de 1986, 1992, 2003, 2011 y 2016.

Los años no fueron elegidos al azar ni en función de un criterio técnico específico. Estos fueron seleccionados en virtud del material disponible que presentó la mejor calidad y las mejores imágenes del satélite Landsat 5, 7 y 8. A partir de las imágenes obtenidas fue posible identificar los posibles cambios en la cobertura del suelo para la Cuenca del río Juqueri. Las imágenes obtenidas por el satélite son de fácil acceso, ya que están disponibles gratuitamente en el sitio USGS.

Por lo tanto, se sabe que al comparar imágenes del satélite Landsat 5, 7 y 8, tendremos

algunos inconvenientes que producen ciertas limitaciones como: órbita que se encuentra el satélite/ punto adquirido, fecha de la imagen, bandas espectrales, elevación solar, azimut solar y su resolución. Sin embargo, lo que se buscó fue utilizar una herramienta gratuita que ayudara a entender la dinámica en los cambios del uso del suelo de la Cuenca en determinados períodos de tiempo e identificar la degradación en los recursos hídricos por esos cambios.

Los análisis para esta investigación se realizaron utilizando unidades funcionales del paisaje del software ArcGIS 10.3. Se realizó una clasificación inicial no supervisada para ver cuántas clases el software podía distinguir con facilidad y calidad. Se realizaron ensayos con 10 y 7 clases, pero sin resultados

satisfactorios y con problemas para la clasificación, donde los mejores resultados fueron obtenidos al clasificar 6 clases. El método utilizado fue (*Iso Cluster*) que utiliza un algoritmo de agrupamiento de isodatos para determinar las características de las agrupaciones naturales de células en el espacio.

Los atributos multidimensionales almacenaron los resultados en un archivo de firma ASCII de salida para posteriormente realizar la clasificación por el método (*Maximum Likelihood Classification*) que realiza una clasificación de máxima verosimilitud con las 6 clases: 1) cuerpos de agua; 2) bosque; 3) pasto; 4) áreas urbanas; 5) suelo expuesto y 6) áreas agrícolas, en un conjunto de bandas Raster y crea un Raster clasificado como producto final (Figura 3).

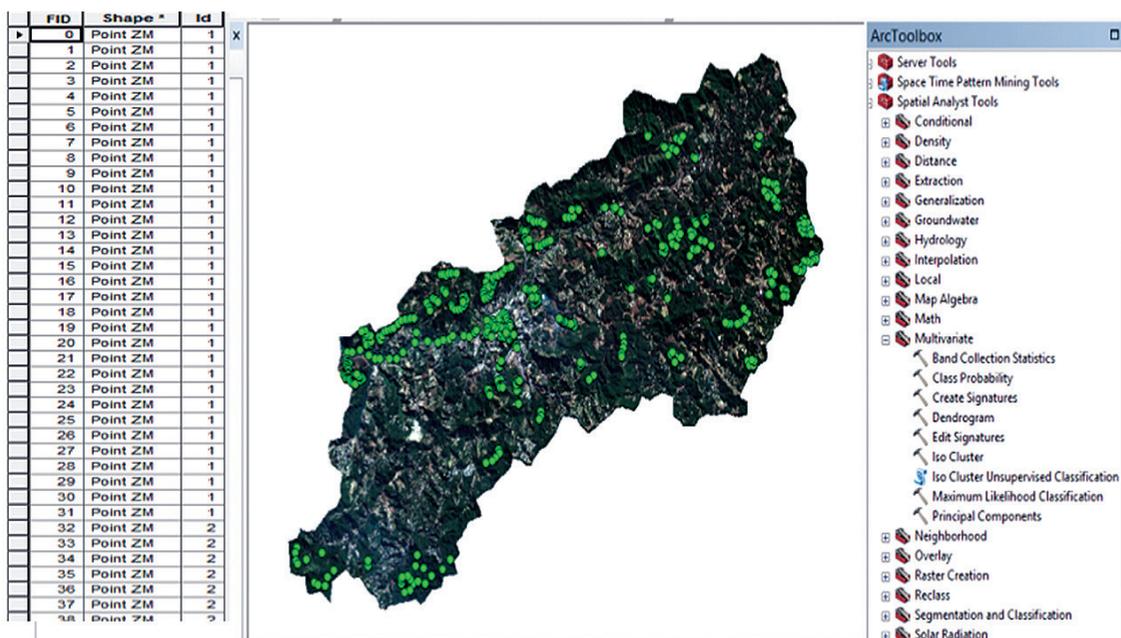


Figura 3. Método de clasificación de máxima verosimilitud.

Fuente: Elaboración propia.

Índice de transformación antrópica - ITA

Este índice precisa de técnicas de geoprocetamiento y la utilización de imágenes de satélites para su aplicación satisfactoria. Los resultados

de las variables obtenidas de los análisis de los cambios en el uso del suelo forman parte del Índice de Transformación Antrópica (ITA), el cual realizó un análisis espacio-temporal

sistemático, comparativo y cualitativo; que estableció los efectos de las actividades antrópicas sobre los diferentes elementos de los ecosistemas de la cuenca. Algunos de los cuidados que deben tenerse en cuenta son: la compatibilidad de los datos tomados en el área de estudio, el detalle establecido en los mapas y el objetivo del trabajo.

El ITA tiene el objetivo de cuantificar la presión antrópica sobre las cuencas hidrográficas. Al aplicar el ITA se identificaron impactos causados por el uso de suelos y la ocupación no planificada de los suelos, determinándose un grado de deterioro en su paisaje y ayudando en la identificación de áreas sensibles a la degradación ambiental.

Para calcular el ITA se depende de diversas variables condicionantes, dentro de ellas, se puede citar: la vegetación, uso actual de suelos, relieve, entre otras. Estos son factores que, dependiendo de su situación actual, influenciaron en la transformación del paisaje de la cuenca. Para aplicar el ITA se realizó un análisis multicriterio que permitió generar información mediante la aplicación de operaciones aritméticas para asociar los diferentes valores dados a la actividad encontrada en el uso actual del suelo de la cuenca de estudio. Existen dos pasos para aplicar el ITA: a) Identificar los diferentes usos de suelo de la cuenca de estudio. b) Determinar el peso que se tienen cada uso del suelo dependiendo de su impacto antrópico, este valor es dado por diferentes especialistas, a continuación, se muestra los valores dados a este estudio:

- Cuerpos de agua (CA): el peso dado fue de 3, debido a problemas de inundaciones y la permanencia de áreas inundadas que pueden propiciar la proliferación de mosquitos y enfermedades; se aclara que este peso no quita la

importancia de tener grandes áreas de recursos hídricos.

- Bosque (F): el peso dado fue de 2, debido a posibles quemas que pueden ocurrir accidentalmente emitiendo carbono, erosión de suelos con metales, y aportes de materia orgánica;
- Pastos (P): el peso dado fue de 7, debido a la expansión de áreas para ganado, lo que posibilita la deforestación. Estas áreas, progresivamente, pasan a ser áreas de suelo expuesto además de presentar otros problemas, como sobrepastoreo, compactación y erosión creada por la acción del ganado y producción de metano;
- Áreas Urbanas (AU): el peso dado fue de 9, debido a la expansión urbana desordenada, instalación de industrias, avenidas asfaltadas e impermeabilización de suelos;
- Solo Expuesto (SE): el peso fue de 8, debido a la pérdida de suelo y capa fértil de este, además de la pérdida de nutrientes y materia orgánica, contaminación de recursos hídricos por sedimentación, erosión, disponibilidad de N, P, metales y otros elementos;
- Área agrícola (AA): peso 7, debido a la pérdida de suelo, pérdida de nutrientes y materia orgánica, contaminación de recursos hídricos por erosión y sedimentación, disponibilidad de nutrientes, pesticidas y agrotóxicos.

Clasificación de las cuencas en cuanto al índice de transformación antrópica

Para calcular el índice en la Cuenca del río Jueri, se clasificaron las áreas como un todo, dando como resultados los valores y su evaluación (Mateo, 1984): I) Poco degradado (0 a 2,5); II) Regularmente Degradado (2,5 a 5); III) Degradado (5 a 7,5); IV) Muy Degradado (7,5 a 10). Finalmente, el resultado del ITA se divide por 100, según la propuesta

metodología de Lèmechev (1982) que cuantifica el grado antrópico.

Resultados y discusión

Uso del suelo en el año 1986

Según las imágenes de satélite estudiadas en esta investigación, la Cuenca del río Juqueri aún presenta un buen porcentaje de bosque, con el 67,25% del total del área de la cuenca. Hay que considerar, sin embargo, que el área de bosques fue sustituida por cultivos de eucaliptos para la obtención de leña, utilizada para suplir las necesidades de las alfarerías que producían una cantidad significativa de ladrillos para la gran metrópolis de São Paulo. Se cree que, por este motivo, la imagen satélite del Landsat 5 referente al año 1986, mostró buena

cantidad de bosque, ya que la silvicultura, con la introducción del eucalipto (por su fácil y rápido crecimiento) ocupó las áreas de pastoreo y antiguas áreas de producción agrícola de baja productividad. Según Mantovani (2003), en la cuenca existían áreas y loteo con pastos para la cría de ganado en pequeña escala y pequeños rastros de vegetación de Mata Atlántica

Se determinó también una buena parte del área (904 ha) de la cuenca con problemas de suelo expuestos. Estos son muy susceptibles a cualquier tipo de erosión, y puede haber sido consecuencia de las necesidades de suelo para la producción de ladrillos de las alfarerías que eran muy comunes en esa época (Tabla 2).

Tabla 2. Valores en hectáreas del uso del suelo de la Cuenca del río Juqueri

| Clases | 1986 | 1992 | 2003 | 2011 | 2016 | Total, área 1986 - 2016 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------|
| Cuerpos de agua | 371 | 364 | 341 | 324 | 229 | -142 |
| Bosques | 22673 | 21526 | 20876 | 20481 | 17319 | -5354 |
| Pastos | 8243 | 3129 | 2657 | 5293 | 5131 | +3112 |
| Áreas Urbanas | 1355 | 2424 | 3368 | 4396 | 5903 | +4548 |
| Suelo expuesto | 904 | 6001 | 6136 | 2377 | 3796 | +2893 |
| Áreas agrícolas | 169 | 270 | 337 | 843 | 1335 | +1167 |
| Total | 33714 | 33714 | 33314 | 33714 | 33714 | |

Los valores en rojo son las áreas de uso del suelo que han sido áreas que están siendo disminuidas.

Uso y ocupación de suelos para el año 1992

En este período la valorización de tierras para lotes y ventas se incrementó (Fadini, 2005). Según Hoeffel *et al.*, (2004) la existencia de actividades, como la reforestación (con eucalipto) para la producción de carbón, además de la construcción de la Avenida Fernão Dias y del embalse Paiva Castro, hizo que São Paulo viera al municipio de Mairiporã como un gran potencial para el sector

inmobiliario, debido a su cercanía a la ciudad y a su gran belleza escénica (Figura 4).

Esto tuvo como consecuencia un aumento en el valor de los terrenos, así como en la multiplicación de parcelas para la venta, lo que generó un aumento poblacional en el área urbana de la región, que del 4,02% del área total de la cuenca en el año 1986, se duplicó en 6 años, pasando a 7,19% del área total para el

año 1992. Obviamente, eso fue el comienzo de la disminución creciente de las clases como bosque, la cual se redujo su área en un 3,4%; de la clase cuerpos de agua, también se determinó una reducción de un 0,02%; y las áreas

con suelo expuesto, aumentaron un 15,12% en los mismos años. Se cree que los terrenos pasaron a ser destinados a la construcción de casas y demás edificaciones urbanas (Tabla 3).

Tabla 3. Dinámica en % de las clases resultantes del uso de suelo.

| Clases | 1986 | 1992 - 1986 | 1992 | 2003 - 1992 | 2003 | 2011 - 2003 | 2011 | 2016 - 2011 | 2016 | TOTAL | ÁREA |
|-----------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|--------|-----------|
| Cuerpos de agua | 1,1 | -0,02 | 1,08 | -0,07 | 1,01 | -0,05 | 0,96 | -0,28 | 0,68 | -0,42 | -141,599 |
| Bosques | 67,25 | -3,4 | 63,85 | -1,93 | 61,92 | -1,17 | 60,75 | -9,38 | 51,37 | -15,88 | -5353,783 |
| Pastos | 24,45 | -15,17 | 9,28 | -1,4 | 7,88 | 7,82 | 15,7 | -0,48 | 15,22 | -9,23 | -3111,802 |
| Áreas Urbanas | 4,02 | 3,17 | 7,19 | 2,8 | 9,99 | 3,05 | 13,04 | 4,47 | 17,51 | 13,49 | 4548,019 |
| Suelo expuesto | 2,68 | 15,12 | 17,8 | 0,4 | 18,2 | -11,15 | 7,05 | 4,21 | 11,26 | 8,58 | 2892,661 |
| Áreas agrícolas | 0,5 | 0,3 | 0,8 | 0,2 | 1 | 1,5 | 2,5 | 1,46 | 4 | 3,46 | 1166,504 |

Uso y ocupación de los suelos en el año 2003

Todas las intervenciones antrópicas que ocurrieron en la región, como la construcción de la carretera Fernão Dias y del embalse Paiva Castro en la década de 1970, provocaron significativos cambios económicos y ambientales en el municipio de Mairiporã. La construcción de esta carretera se destinaba a interconectar la gran São Paulo con Belo Horizonte y la construcción del embalse Paiva Castro tenía el objetivo de garantizar el suministro de agua potable a la Gran São Paulo. La cuenca hidrográfica del río Juqueri estaba siendo insertada en un área de intensos conflictos socioambientales en función de diversas características (Hoeffel *et al.*, 2004).

entre estas características se puede destacar el hecho de que esta cuenca se integra con otra cuenca hidrográfica de gran importancia económica, pues esa es parte fundamental del Sistema Cantareira de abastecimiento

de agua. El mismo autor todavía plantea que, aunque la región se venía consolidando como un importante polo turístico y con un intenso proceso de urbanización, la población local parece no percibir o no tener conocimiento de las peculiaridades ambientales de la región que impulsan en gran parte el turismo que se desarrolla actualmente (HOEFFEL *et al.*, 2004).

Otra actividad que ganó mucha fuerza en la región fue a la silvicultura, que hoy ocupa extensas áreas en el Sistema Cantareira y continúa en expansión (Whately & Cunha, 2007). Esta situación evidencia enormes riesgos existentes para la calidad del agua del embalse Paiva Castro, así como la necesidad de intensificar los procedimientos que pueden garantizar la conservación y la recuperación de sus recursos hídricos.

De acuerdo con los datos obtenidos, en el año 2003, nuevamente los cuerpos de agua perdieron el 0,07% de su área en relación al año

1992, el bosque perdió el 1,93% y las áreas de pastoreo perdieron el 1,4%, las clases de áreas urbanas y suelo expuesto aumentaron sus áreas en 2,8% y el 0,4% respectivamente (Tabla 3). Por lo tanto, en el año 2003 se determinó un paisaje formado por mosaicos, donde apenas se distingue una continuidad de apariencia entre una propiedad rural y otra, lo que revela intervención humana y la discontinuidad de los ecosistemas (Almeida *et al.*, 2008) (Figura 4).

Uso y ocupación de los suelos del año 2011

Según el Plan Director del municipio de Mairiporã, la cobertura natural antiguamente estaba dominada por formaciones forestales, que hoy en día vienen siendo reemplazadas gradualmente por núcleos urbanos, reforestaciones y agroecosistemas. Se identificó un aumento en el área de pastoreo para este año, que pasó del 7,88% en el año 2003 a un 15,7% para el año 2011. Este fenómeno podría haber ocurrido por el crecimiento de pastoreo de algunas áreas de suelo expuesto, ya que la clase disminuyó del 18,2% del año 2003 a un valor del 7,05% en el año 2011, protegiendo los suelos susceptibles a la erosión (Figura 4).

Muchos de los valores obtenidos en esta investigación en los mapas de uso del suelo de la cuenca, fueron confrontados, evaluados y validados según los resultados obtenidos en el documento "Atlas de Uso y Ocupación del suelo del Municipio de Mairiporã" de 2006, que mostró resultados similares a los mapas de suelo en áreas urbanas. Para el año 2011, la dinámica en el uso de los suelos de la Cuenca del río Juqueri mostró nuevamente aumentos en las clases de uso antrópico. La clase de áreas urbanas evidenció un incremento del 3,05% y la clase de área agrícola 1,5%, mostrando degradación continua de la cuenca en el transcurso del tiempo. La clase de cuerpos de agua disminuyó 0,05%, y la de

bosque 1,17%, evidenciando la degradación en los recursos hídricos, y la clase de suelo expuesto disminuyó en el 11,15%, lo que sugiere que ese porcentaje se distribuyó en el incremento de áreas de pastoreo que aumentó en el 7,82% y en el área urbana (Tabla 3).

Uso y ocupación de los suelos en el año 2016

La situación de la Cuenca del río Juqueri y de sus recursos hídricos para el año 2016 es el resultado de largos procesos de cambios en el uso del suelo. En cierta forma, la distribución de la red de drenaje, los diferentes procesos erosivos, la formación del embalse Paiva Castro y su dinámica con los acuíferos subterráneos, además de la distribución de la vegetación y otros elementos físicos que interfieren en la organización y ocupación del área urbana y pastos se relacionan con el uso del suelo de la cuenca. Siendo de gran importancia entender las interacciones de los usos y la estructuración paisajística, para determinar la degradación de los recursos hídricos y la presión ambiental actual. Por lo tanto, la cuenca está pasando por procesos degradantes de ocupación antrópica en los últimos 30 años, lo que está causando graves reflejos ambientales, como la disminución del bosque y la degradación de los recursos hídricos en cantidad y calidad. El embalse Paiva Castro sufre una continua degradación, pues su área disminuye paulatinamente de acuerdo con los datos obtenidos por esta investigación, el embalse cuenta ahora con menos del 0,28% (Tabla 3).

Degradación de los recursos hídricos de la cuenca del río Juqueri

Los mapas evidencian resultados del progresivo aumento de áreas urbanas y disminuciones de áreas forestales y las áreas ocupadas por los recursos hídricos disminuyeron, lo que de hecho demuestra una degradación de los recursos hídricos en el transcurso de los años. Los valores en el área de la clase cuerpos de agua disminuyeron

142 ha desde 1986 hasta 2016, o sea, se ha perdido un área del 0,42%. La clase de bosque disminuyó 5354 ha en los mismos 30 años, lo que en porcentaje representa una pérdida del 15,88%, valor relevante para este estudio (Tabla 3) (Figura 4). El área cubierta por pasturas disminuyó 3111 ha, lo que en porcentaje sería el 9,23%. Lo contrario ocurrió para el área urbana y el suelo expuesto, que aumentaron su área en 4548 ha y 2893 ha respectivamente, lo que en porcentaje representa un aumento del 13,49% y del 2,9%.

Por más que el valor de la disminución del área de los cuerpos de agua sea sólo el 0,42%, el uso de suelos tiene una relación directa con el flujo de agua del área del Parque Estadual Juqueri y de la cuenca Juqueri, siendo que esta cuenca es drenada por el río Juqueri que además de su disminución, recibe aguas residuales de la zona metropolitana de São Paulo (RMSP),

donde además el Embalse recibe aguas residuales del sistema Cantareira, compuesto por las cuencas Atibainha, Cachoeira, Jacar, Jágua y Juqueri, responsable del 56,70% del abastecimiento de agua de la Región Metropolitana de São Paulo (RMSP). El uso del área de la Cuenca del río Juqueri en la represa se rige por la Ley de Protección de los Manantiales - Ley Estadual n° 9.866, de 28/11/1997. Pero, aun así, se está reduciendo su área boscosa (Figura 5). Se resalta que, así como viene ocurriendo una disminución de las áreas de los cuerpos de agua, aumentando así la bioacumulación y biodisponibilidad de determinados contaminantes en los sedimentos del embalse Paiva Castro (Figura 6). Lo que ocasiona impactos sobre la salud de las personas usuarias del abastecimiento por este embalse, pues el nivel actual de ese es del 19,9% del nivel total del reservatorio (Sedae, 2017).

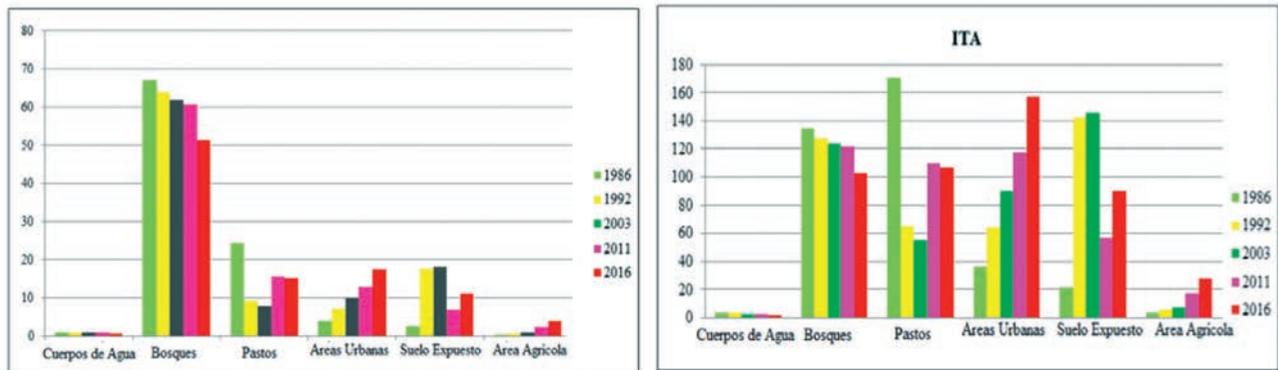


Figura 4. Cambios en el uso del suelo de la cuenca y ITA

Fuente: Elaboración propia.



Figura 5. Disminución en % del área de la clase cuerpos de agua

Fuente: Elaboración propia.

Aplicación del índice de transformación antrópica (ITA)

La Tabla 4 muestra los resultados del ITA, que varió de 3,7, en el año 1986 y fue para 4,87, en el año 2016, evidenciando que ocurrió la degradación 76% a partir del año 1986. La Figura 5 identifica la dinámica sufrida por la cuenca en los años estudiados y, nuevamente, queda muy nítida la disminución de la clase bosque. Se observó también un aumento en la clase de pastoreo. También hubo variabilidad en la clase de suelo expuesto, que habiendo sufrido inicialmente una disminución, aumentó en el año 2016 superando, inclusive, los valores presentados en 1986 y 2011. Por lo cual, existe una leve disminución consecutiva de los valores de la clase en los cuerpos de agua a través de los años.

Se identifica la presión ambiental en los cambios del uso del suelo, pues los mayores impactos se registraron en el período de los años 2011 hasta 2016, periodo en el cual se obtuvieron los mayores valores de pérdidas en áreas de clases muy importantes como los cuerpos de agua y los bosques (Figuras

5 y 6). En particular, las disminuciones ocurrieron en las clases de bosque, pastos y cuerpos de agua, proceso acompañado de aumentos en los valores del ITA de áreas degradantes como la clase de suelo expuesto que pasó del año 2011 de un valor de 56,4 a 90,08 en 2016 y cuando el área urbana pasó de un valor de 117,36 en el año 2011 a un valor de 157,59 en los años 2016. Se evidencia una clara y progresiva degradación ambiental de la cuenca (Tabla 4). Cabe resaltar que el ITA identificó la clase de pastos como el área más importante con un valor de 171,15 en el año 1986, siendo esta clase muy relevante en la planificación a futuro de la cuenca para su gestión y mejoramiento ambiental (Figura 5).

Por lo tanto, se clasificó, según el ITA, la Cuenca del río Juqueri como una cuenca *Regularmente Degradada*, manteniéndose en ese nivel de degradación regular en los últimos 30 años. Sin embargo, los valores de ITA vienen aumentando, lo que demuestra una intensificación en la presión y degradación ambiental que la cuenca y en sus recursos hídricos.

Tabla 4. Valores del ITA.

| Clases | 1986 | 1992 | 2003 | 2011 | 2016 |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Cuerpos de Agua | 3,3 | 3,24 | 3,03 | 2,88 | 2,04 |
| Bosques | 134,5 | 127,7 | 123,84 | 121,5 | 102,74 |
| Pastos | 171,15 | 64,96 | 55,16 | 109,9 | 106,54 |
| Áreas Urbanas | 36,18 | 64,71 | 89,91 | 117,36 | 157,59 |
| Suelo Expuesto | 21,44 | 142,4 | 145,6 | 56,4 | 90,08 |
| Áreas Agrícolas | 3,5 | 5,6 | 7 | 17,5 | 27,72 |
| Total | 370 | 409 | 425 | 426 | 487 |
| Clasificación ITA | Regular | Regular | Regular | Regular | Regular |

Conclusiones

El aumento poblacional trae consigo aumentos en el área urbana, acompañada de diversas interferencias antrópicas ligadas al mal uso del espacio urbano, que en conjunto hacen que la Cuenca del río Juqueri esté sometida a una fuerte presión ambiental, se concluye que la Cuenca del río Juqueri pasó por un proceso degradante de ocupación antrópica en los últimos 30 años, lo que está causando graves problemas ambientales, como la disminución del área boscosa que conlleva a pérdidas de fauna y flora, y la disminución de los cuerpos de aguas.

El embalse Paiva Castro es una de las mayores riquezas de esta cuenca, este viene sufriendo fuertes impactos debido al aumento del área urbana en su perímetro (construcciones de edificios y condominios), estos procesos sin la debida planificación, viene acompañado de aguas residuales que se vierten sin previo tratamiento degradando sus recursos hídricos.

Esta investigación muestra progresivas disminuciones en las áreas de la cuenca del río Juqueri, cubiertas con capas forestales, pastizales y áreas ocupadas por los recursos hídricos, esto demuestran una presión ambiental en el transcurso de los años, donde el crecimiento del área urbana intervino en la dinámica del paisaje de la cuenca, y trabajo como consecuencia la disminución de los cuerpos hídricos de la cuenca del río Juqueri y del embalse Paiva Castro.

Se determina según el ITA obtenido para la cuenca del río Juqueri que es una cuenca *Regularmente Degradada*, manteniendo este nivel de degradación regular en los últimos 30 años, sin embargo, los valores de ITA vienen aumentando, mostrando una fuerte intensificación de la presión ambiental en la cuenca y una continua degradación en sus recursos hídricos.

Literatura citada

- ALMEIDA CE, ALMEIDA JR, COSTA J. SILVEIRA AC, VINHAES MC, 2000. Monitoring the domiciliary and peridomiciliary invasion process of *Triatoma rubrovaria* in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 95: 761-768.
- ALMEIDA CE, COSTA J. DOTSON E, HAAG K, DUPAS S, PACHECO RS, 2008. Inferring from the *cyt B* gene the *Triatoma brasiliensis* Neiva, 1911 (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae). Genetic structure and domiciliary infestation in the state of Paraíba, Brazil. *Am J Trop Med Hyg* 78: 791-802.
- ALMEIDA CE, BELTRÃO M, COSTA J. DUARTE R, FOLLY-RAMOS E, GUMIEL M, LIMA MM, LIMA-NEIVA V, LOCKS M, PETERSON AT, 2009. Could *Triatoma sherlocki* be vectoring Chagas disease in small mining communities in Bahia, Brazil. *Med Vet Entomol*, in press.
- ATLAS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DE MAIRIPORÃ 2006. https://www.emplasa.sp.gov.br/Cms_Data/Sites/EmplasaDev/Files/Documentos/Cartografia/Atlas/RMSP/Atlas_Mairipora.pdf. Acesso: 10/10/2016.
- CUNHA, P., WHATELY, M. Cantareira 2006: um olhar sobre o maior manancial de água da Região Metropolitana de São Paulo. Instituto Socioambiental, São Paulo, 2007.
- FADINI, A. A. B. Impactos do Uso das Terras na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá (SP). Rio Claro: Universidade Estadual Paulista (UNESP), Dissertação de Mestrado em Geociências e Meio Ambiente, 141 p., 2003.
- FADINI, A. A. B. Sustentabilidade e identidade local: pauta para um planejamento ambiental participativo em sub-bacias hidrográficas da região Bragantina. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Tese de Doutorado, 204p., 2005.
- GIATTI, L. Reservatório Paiva Castro – Mairiporã – SP Avaliação da Qualidade da Água Sobre Alguns Parâmetros Físicos, Químicos e Biológicos. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. 2000.
- HADDAD, E. Influências antrópica na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio São Miguel, Carste do alto São Francisco, Minas Gerais. 2007. 156 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de pós-graduação em geografia, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, 2007.

- HOEFFEL et al., *Concepções Sobre a Natureza e Sustentabilidade. Um Estudo sobre Percepção Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Atibaia—Nazaré Paulista/SP. II Encontro da ANPPAS*. Indaiatuba, Brasil: ANPPAS (CD-ROM), 2004. ALMEIDA JR et al., 2008)
- LÉMECHEV. T. (1987). On hydrological heterogeneity catchment morphology and catchment response. *Journal of Hydrology*, 100, p 353-375.
- LEITE M, MATSUMOTO T., AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO DE ILHA SOLTEIRA (BRASIL) VISANDO SEU APROVEITAMENTO MÚLTIPLO. Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista – Processo 03/07355-2007
- MANTOVANI, W. 2003. Delimitação do bioma Mata Atlântica: implicações legais e conservacionistas. *Ecosistemas Brasileiros: Manejo e Conservação*. 1º ed. Expressão Gráfica e Editora, Fortaleza, p.287-295.
- MATEO, J. *Apuntes de Geografía de Los Paisajes*. La Habana: Universitaria, 1984. 194p.
- PÉREZ-ORTEGA, D. J. *Avaliação dos efeitos das atividades antrópicas na bacia hidrográfica do Córrego do Ipê, município de Ilha Solteira-SP*. 2011. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Paulo, 2011.
- SANTOS, DIAS. SILVA, MACEDO. ANÁLISE HIDROLÓGICA E SOCIOAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO ROMÃO DOS REIS, VIÇOSA-MG. *Revista Sociedade de Investigações Florestais*. 2009. v.31, n.5, p.931-940
- SEDAE. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Perfil Municipal. 2008. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos/perfil/perfil.php>>. Acesso em: 04/10/2016.
- USGS. <http://earthexplorer.usgs.gov/> Acesso: 20/11/2016

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

PRÁCTICAS AGRÍCOLAS Y RIESGOS A LA SALUD POR EL USO DE PLAGUICIDAS EN AGRÍCOLTORES SUBREGIÓN MOJANA – COLOMBIA

AGRICULTURAL PRACTICES AND RISKS TO HEALTH FROM THE USE OF PESTICIDES IN AGRICULTURAL SUBREGION MOJANA - COLOMBIA

Candelaria Gordon Morante ¹

José Luis Marrugo Negrete ²

¹ Magister en ciencias ambientales, especialista en salud ocupacional, Universidad de Sucre, Sincelejo-Colombia.

² Phd. Doctor en ciencias químicas, Universidad de Córdoba, Montería-Colombia.

¹ candygordom@hotmail.com

² joseluismarrugo@gmail.com

Resumen

Las implicaciones a la salud del trabajador agrícola por el uso de plaguicidas se constituyen en una de las mayores preocupaciones actuales en materia sanitaria, debido al uso indiscriminado de los mismos y la posible no aplicación de controles que prevengan enfermedades, accidentes laborales y/o daños en el ambiente. El presente estudio, desarrollado en la subregión de la Mojana en el departamento de Sucre-Colombia (Municipios de Majagual, Sucre y Guaranda), tuvo como objetivo evaluar las implicaciones de los conocimientos, actitudes y prácticas frente al uso de plaguicidas en la salud de los trabajadores agrícolas, para lo cual se describieron los conocimientos, actitudes, prácticas en el uso de plaguicidas y las manifestaciones de intoxicaciones y síntomas en la salud de una muestra de 200 trabajadores

agrícolas; se realizaron asociaciones estadísticas utilizando la prueba chi-cuadrado para conocer cuáles de las variables de estudio influían en implicaciones a la salud y se valoraron los niveles de riesgos bajo la metodología GTC 45 2010. Como resultados relevantes se encontraron incumplimientos legales a los Decretos 1843 de 1991, 1443 de 2004, 4741 2005, 1072 y 1076 de 2015; las variables que presentaron asociación estadística fueron: sexo, nivel educativo, el tiempo empleando plaguicidas y el uso de elementos de protección personal y el nivel de riesgo según metodología GTC 45 2010 es muy alto. Se recomienda la implementación de sistemas de vigilancia epidemiológica, controles en la disposición de residuos peligrosos, sensibilizaciones en prácticas agrícolas y manejo de plagas sin químicos.

Palabras claves: Conocimientos, Control, Intoxicación, Plagas, Químicos.

Abstract

The implications for health of the farm workers by the use of pesticides is one of the major current concerns in health, due to the indiscriminate use and the absence of regulations to prevent diseases, accidents at work and (or) damage to the environment. This study was developed in the sub-region of the Mojana in the Department of Sucre-Colombia (municipalities of Majagual, Sucre and Guaranda) and the objective was to evaluate the implications of knowledge, attitudes and practices against the use of pesticides in the health of agricultural workers, for which the knowledge, attitudes, practices in the use of pesticides and the manifestations of intoxications and symptoms in the health of a sample of 200 agricultural workers were described; statistical

associations were made using the chi-square test to know which of the study variables influenced health implications and the risk levels were assessed under the GTC 45 2010 methodology. As relevant results legal breaches of Decrees 1843 of 1991, 1443 of 2004, 4741 of 2005, 1072 and 1076 of 2015 were found; the variables that presented statistical association between the use of pesticides and the health implications were: sex, educational level, time spent using pesticides and the use of personal protection elements and the level of risk according to GTC 45 2010 methodology was very high. It is recommended the implementation of epidemiological surveillance systems, controls on the disposal of hazardous waste, sensitization on good agricultural practices and pest management without chemical products.

Keywords: Control, knowledge, poisoning, pests, chemical products.



Resumen gráfico

Introducción

La actividad agrícola está naturalmente relacionada con el medio ambiente y este a su vez con la salud laboral de quienes la ejercen como oficio o profesión, bien sea como agricultores o administradores agropecuarios. Los datos disponibles provenientes de los países en desarrollo revelan que en años recientes ha habido un incremento en las tasas de accidentes y patologías en la agricultura. La Organización internacional del trabajo- OIT afirma que "tales accidentes ocurren principalmente entre los trabajadores migrantes y los jornaleros, así como entre las mujeres y los niños cuya participación en el trabajo agrícola asalariado aumenta constantemente" (p.7), conforme los daños al ecosistema.

Los plaguicidas comprenden un variado grupo de productos químicos que el hombre utiliza contra los efectos negativos de otros organismos que, por su acción y proliferación, pueden ser considerados como plaga (Gentile *et al.*, 2003). Sin embargo, han originado problemas que afectan tanto al ambiente, constituyendo una importante fuente de contaminación, así como a la salud humana, bien sea por contacto directo o por inhalación, y también pueden llegar al organismo a través de alimentos contaminados (Del Puerto, 2014).

Ahora bien, la exposición aguda o crónica a plaguicidas puede generar enfermedades de tipo laboral, reguladas en Colombia mediante el Decreto 1477 de 2014 o tabla de enfermedades laborales, entre las que se encuentran: arritmias cardíacas, bronquitis, efectos tóxicos del fósforo, entre otros. Sin contar con los daños al ambiente, como la contaminación del suelo y del agua y aun cuando se usan correctamente algunos plaguicidas se quedan en el ambiente durante años, se evaporan en la atmósfera y contaminan el planeta (FAO, 2010).

Por su parte, la Organización Mundial de la Salud-OMS los agrupa en cuatro clases: IA

(extremadamente tóxicos), IB (altamente tóxicos), II (moderadamente tóxicos), III (ligeramente tóxicos). También ha recomendado, sujeta a actualizaciones periódicas, una clasificación según su peligrosidad, entendiendo ésta como su capacidad de producir daño agudo a la salud, cuando se da una o múltiples exposiciones en un tiempo relativamente corto. Esta clasificación se basa en la dosis letal media (DL50) aguda, por vía oral o dérmica de las ratas; Sin embargo; un producto con una baja dosis letal media (DL50) puede causar efectos crónicos por exposición prolongada.

La subregión Mojana Sucreña, ubicada en la Región Caribe de Colombia, es una región formada por humedales, regulada por los ríos Magdalena, Cauca y San Jorge; (Programa de desarrollo sostenible de la Mojana, 2003). La producción agrícola de esta subregión se ve afectada en que los pequeños productores no utilizan tecnología tradicional, tienen escaso manejo de los suelos y hacen un inadecuado uso de los agroquímicos (DNP, 2003). Esta subregión cuya población rural representa el 67% del total (Análisis de situación de salud de Sucre, 2012), son un segmento especialmente vulnerable, por estar en riesgo alto de exposición a plaguicidas; dadas sus actividades y la cercanía de sus hogares a los lugares donde se fumiga, adicional a ello, presentan niveles de escolaridad por debajo de la media del país y ausencia de acompañamiento técnico para el desarrollo de sus actividades agrícolas (Ministerio de Educación Nacional, 2014).

En consecuencia de lo anterior, se planteó como objetivo general, evaluar las implicaciones de los conocimientos, actitudes y prácticas frente al uso de plaguicidas en la salud de los trabajadores agrícolas de la subregión Mojana en el departamento de Sucre y como específicos describir los conocimientos, actitudes, prácticas, implicaciones a la salud e

información sociodemográfica de los pequeños trabajadores agrícolas en la subregión de estudio; realizar asociaciones estadísticas entre variables para conocer cuáles se asocian a implicaciones en la salud en el uso de plaguicidas y valorar los niveles de riesgo laboral bajo la metodología GTC 45 2010.

La revisión del estado del arte, en relación con el uso de plaguicidas y las implicaciones a la salud evidenció que a nivel mundial existe una gran preocupación por el uso indiscriminado de plaguicidas y los efectos a la salud de quienes los aplican, así como de las comunidades aledañas a los cultivos, destacándose los trabajos hechos por (García, *et al.*, 2002) en México donde se concluyó la necesidad de desarrollar programas de prevención específicos y valorar en estudios epidemiológicos los determinantes de la exposición a plaguicidas; en Culturama Brazil, (Recena *et al.*, 2006), se encontró una correlación significativa entre manos lavadas después de la aplicación de plaguicidas y reporte de síntomas ($P \frac{1}{4} 0:014$). También se destacan los realizados en Pakistan por (Muhanmad, *et al.*, 2015) en Iran por (Mahmoud, *et al.* 2015) en China (Jianjun, *et al.*, 2015), en Etiopia por (Mengitie, *et al.*, 2017) donde se encontró que la probabilidad del uso adecuado de los plaguicidas y la percepción del riesgo a la salud están en función de la educación y por último cabe mencionar el realizado en Kuwait (Mustapha, *et al.*, 2017) donde se evidenció que las variables asociadas a comportamiento de uso de plaguicidas son educación,

experiencia, capacitación en manejo de plaguicidas y la edad ($X^2=12.86$, $df=5$, $p<0.05$).

A nivel nacional se destacan las investigaciones hechas en los departamentos de Putumayo, Antioquia y Córdoba, (Salcedo, *et al.*, 2004), (Tobón *et al.*, 2010) y (Amador, *et al.*, 2016) respectivamente, los cuales permitieron conocer el panorama de la población agrícola que es más vulnerable a sufrir problemas de salud por sus condiciones económicas, de acceso a servicios médicos, por no tener cobertura de riesgos laborales, entre otros.

Materiales y métodos

El estudio fue de tipo descriptivo transversal, con un enfoque cuantitativo, basado en la aplicación de un formulario (encuesta). Los criterios de inclusión definidos fueron: Pequeños Trabajadores (hombre o mujer) agrícolas, es decir aquellos que trabajan a lo sumo en 10 hectáreas, aplicadores, formuladores y/o mezcladores de agroquímicos de 18-80 años, con exposición mínima de un año a plaguicidas.

Para validar el instrumento se tomó una muestra piloto de 30 trabajadores agrícolas aplicadores de plaguicidas que cumplieran los criterios de inclusión. Los datos se incorporaron utilizando el software estadístico SPSS versión 21 lográndose para un 100% de resultados válidos un valor de 0.84 en la prueba de Alpha de Cronbach, que indicó su validez, como se muestra en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Resumen del procesamiento de los casos.

| Casos válidos y o válidos en muestra piloto | | N | % |
|---|-----------|----|-------|
| Casos | Válidos | 30 | 100,0 |
| | Excluidos | 0 | ,0 |
| | Total | 30 | 100,0 |

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Tabla 2. Alfa de Cronbach. Estadísticas de fiabilidad

| Alfa de Cronbach | Alfa de Cronbach basada en elementos estandarizados | N de elementos |
|------------------|---|----------------|
| ,824 | ,719 | 60 |

Fuente: Elaboración Propia, 2017

La población objeto de estudio se estableció a partir del Registro Único de Usuarios de la Asistencia Técnica Directa Rural –RUAT en los tres municipios, el cual proyectó una población total de 2332 pequeños trabajadores agrícolas. Se utilizó una proporción de 0.5, un nivel de confianza del 95% y un error del 7%, mediante un muestreo aleatorio simple. Se obtuvo una muestra de 200 pequeños trabajadores agrícolas.

El estudio se desarrolló en los municipios de: Guaranda, ubicado entre las coordenadas 74°50' 0.286"-74°32'11.461"longitud Oeste y 8°16' 52.92"- 8°30' 45.397" latitud Norte, con un área de 345.3 Km2 aproximadamente; Majagual, el cual se ubica entre las coordenadas 74°54'26.124"-74°34'10.515"longitud Oeste y 8°21' 20.581"-8°46' 23.357" latitud Norte, con un área de 893.2 Km2 aproximadamente y Sucre ubicado entre las coordenadas 74°53'53.102"-74°32'32.726"longitud Oeste y 8°34'12.769"-9°02'52.585" latitud Norte, con un área de 1105.6 Km2 aproximadamente. (Instituto Técnico Agustín Codazzi, 2012)

Para evaluar las implicaciones a la salud de los trabajadores agrícolas, por el uso de plaguicidas, se inició describiendo los conocimientos, actitudes, prácticas e implicaciones a la salud de los trabajadores encuestados, para lo cual se tomó como referencia el resultado de la encuesta aplicada y se clasificaron las variables así:

Variables relacionadas con los conocimientos: niveles de escolaridad, lectura de etiquetas de plaguicidas y conocimiento en hojas de seguridad.

Variables relacionadas con la actitud: lavado de manos después de aplicar los plaguicidas, lugar de consumo de alimentos, lavado de prendas contaminadas y uso de elementos de protección personal.

Variables relacionadas con las prácticas: almacenamiento de plaguicidas, almacenamiento de sobrantes de plaguicidas, condiciones ambientales antes de su aplicación, señalización de los lugares de trabajo, lugares de compra de los plaguicidas, lavado de envases, disposición de envases, lavado de equipos de fumigación y plaguicidas utilizados.

Variables relacionadas con implicaciones a la salud: información sociodemográfica, tiempo en años aplicando plaguicidas, frecuencia de exposición, alguna vez se ha intoxicado, que síntomas presentó y la morbilidad sentida.

Una vez descritas las variables de acuerdo a las categorías indicadas se hizo análisis estadísticos de asociaciones entre todas las variables a través de la prueba estadística chi cuadrado ($p < 0.05$), con el fin de conocer cuáles se asocian a implicaciones a la salud.

Por último se analizaron las actividades que comprenden el proceso de aplicación de plaguicidas y bajo la metodología GTC 45 2010 se valoró el nivel de riesgo de los trabajadores agrícolas de la zona de estudio.

Resultados y Discusión

Conocimientos, actitudes y prácticas

Dentro de los conocimiento de los trabajadores

agrícolas entrevistados se destaca que el 55.5% tienen niveles de escolaridad primaria, seguidos de secundaria en un 25.5 % y un 13% analfabetas; el 43% no lee la información descrita en el empaque y el 90% no conoce las hojas de seguridad.

Tabla 3. Conocimientos de los trabajadores agrícolas

| Variables | Categoría | Porcentaje |
|--|------------------------------|------------|
| Nivel de escolaridad | Analfabeta | 13.0 |
| | Primaria | 55.5 |
| | Secundaria | 25.5 |
| | Otros | 6.0 |
| Como se informa de la peligrosidad de los empaques | Lee el contenido del empaque | 57.0 |
| | Lo sabe por intuición | 25.0 |
| | No sabe | 18.0 |
| Conoce las hojas de seguridad | Si | 10.0 |
| | No | 90.0 |

Fuente: Elaboración propia

Con relación a las actitudes, como se muestra en la tabla 4, el 96.5% de los trabajadores lavan sus manos al finalizar la aplicación de plaguicidas, pero esto discrepa con el consumo de alimentos que se hace para el 49.5% de los casos en el lugar de trabajo y con el poco uso de los elementos de protección personal, ya que más del 80% no los utiliza.

Tabla 4. Actitudes de los trabajadores agrícolas

| Variable | Categoría | Porcentaje |
|--|------------------|------------|
| Realiza el lavado de manos inmediatamente después de aplicar los plaguicidas | Si | 96.5 |
| | No | 3.5 |
| En qué lugar consume los alimentos después de aplicar los plaguicidas | Cerca al trabajo | 10 |
| | En su vivienda | 40.5 |
| | Lugar de trabajo | 49.5 |
| Utiliza elementos de protección para aplicar los plaguicidas | Si | 17 |
| | No | 83 |

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a las prácticas, se puede indicar que el almacenamiento tanto de plaguicidas como de sus sobrantes es realizado en bodegas aledañas a las viviendas (45%) y en el 43% de los casos dentro de las viviendas exponiendo prendas, alimentos, comidas y población infantil al contacto de ellas, lo cual no cumple lo establecido en el Decreto 1843 artículos 54 y 92 y Decreto 1443 de 2004 artículo 7.

Dentro de los factores ambientales a tener en cuenta antes de aplicar los plaguicidas y que hacen parte de las prácticas agrícolas, el 76% tiene en cuenta el viento, seguido del horario, humedad y temperatura, lo cual es conforme a lo establecido en el Decreto 1843 de 1991 artículo 86 que dice “aplicaciones con altas temperaturas o vientos fuertes pueden ocasionar daños al cultivo y los alrededores, por ello se recomienda no aplicar plaguicidas con temperaturas mayores de 29°; vientos 2 cm/seg; humedad 60% o lluvia”.

Los envases de plaguicidas, en el 41.5% de los casos son reutilizados, adicional a ello el 46% los lavan cerca del lugar de cultivo lo cual es adecuado para evitar la contaminación principalmente de cuerpos de agua, pero el porcentaje restante lo realiza entre sus viviendas o cuerpos de agua cercanos, incumpliendo con el Decreto 4741 de 2005 artículo 32 y el Decreto 1075 de 2015 art 2.2.7.2.1.3 sobre prohibiciones de vertimiento de plaguicidas y otros químicos en cuerpos de agua.

Implicaciones a la salud por el uso de plaguicidas

La edad promedio de los trabajadores agrícolas encuestados fue de 46.65±13.82; el 78.5% son de sexo masculino, el 100% no están afiliados a la seguridad social. La muestra estudiada tiene en promedio 17 ± 13 años aplicando plaguicidas con mayor

frecuencia de aplicación semanal entre 3-4 horas de exposición, el 25% se ha intoxicado alguna vez, de estos el 89.5% acudieron al médico o centro de salud más cercano, los síntomas manifestados fueron 60% irritación y lagrimeo visual, seguidos de cefaleas, vómitos y mareos.

La morbilidad sentida de Los trabajadores entrevistados en el último año (2017), se resume en:

Ardor en los ojos (51%), cefaleas (24%); ardor para orinar (15%); vómitos (15%) lagrimeo (13%); dolor abdominal (12%); mareos (12%); falta de apetito (7%); dificultad para respirar (7%) y otros (5%). Estas manifestaciones a la salud de los trabajadores agrícolas son concordantes con las encontradas por los trabajadores agrícolas de la sierra central en Perú (Montoro Y, *et al.*, 2009), donde el 46% manifiesta sentir dolor de cabeza, 40% mareos, 23% náuseas y 20% visión borrosa. Estas manifestaciones a la salud presentan similitud con lo descrito por Bejarano (2012), que indica: los efectos negativos más comunes asumidos a las sustancias de plaguicidas, son: dolores de cabeza, náuseas, vómitos, dolores de estómago y diarreas; sin embargo, la intensidad de estos efectos sobre la salud depende del tipo de plaguicida y su grado de toxicidad, cantidad o dosis de exposición, frecuencias de aplicación y utilización de medidas de protección personal (Machado, *et al.*, 2012).

Asociaciones entre variables

Tabla 5. Pruebas de chi-cuadrado

| VARIABLES ASOCIADAS | Valor Chi-cuadrado de Pearson | Grados de libertad | Significación asintótica (bilateral) |
|--|-------------------------------|--------------------|--------------------------------------|
| En qué lugar consume los alimentos después de aplicar el plaguicida-Sexo. | 14,55 | 2 | 0.001 |
| Alguna vez se ha intoxicado aplicando los plaguicidas- Sexo | 9,893 | 1 | 0.002 |
| Uso de elementos de protección para aplicar los plaguicidas - sexo. | 9,397 | 1 | 0.002 |
| Nivel educativo-alguna vez se ha intoxicado a aplicando los plaguicidas. | 16,61 | 7 | 0.020 |
| Con qué frecuencia aplica la plaguicidas- alguna vez se ha intoxicado. | 15,425 | 7 | 0.031 |
| Uso de elementos de protección personal- alguna vez se ha intoxicado aplicando plaguicidas | 5,997 | 1 | 0.014 |
| N de casos válidos | 200 | | |

Fuente: Elaboración propia, 2017

Las variables asociadas a implicaciones de salud por posibles intoxicaciones con plaguicidas, de acuerdo al resultado de la prueba chi cuadrado son: sexo, nivel educativo, tiempo empleando plaguicidas y el uso de elementos de protección personal.

Nivel de riesgo laboral

Al realizar la identificación de peligros, valoración de riesgos y determinación de controles para el proceso de fumigación de cultivos con plaguicidas, bajo la metodología GTC 45, se encontró que los riesgos a los cuales se expone el trabajador agrícola son: intoxicación por plaguicidas, afecciones lumbares y/o osteomusculares por postura inadecuada, movimiento repetitivo y afectaciones en la piel y vista por exposición a radiaciones solares. Estos riesgos fueron valorados y se llegó a la conclusión que de acuerdo con los controles actuales los

trabajadores agrícolas presentan riesgo muy alto de intoxicación con plaguicidas, el cual es inaceptable si no se toman las medidas urgentes que se requieren para estas labores.

El trabajador agrícola se expone a riesgos que deterioran su calidad de vida; las condiciones laborales no favorecen su salud, así lo manifestó la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (2013, p. 23) al indicar que el trabajador se ve expuesto a factores de riesgos y posibles daños en la salud; estos riesgos se pueden derivar del trabajo a la "intemperie y superficies irregulares, uso de herramientas y maquinaria, y uso de productos químicos como fertilizantes, plaguicidas...), entre otros".

Conclusiones

La descripción de los conocimientos, actitudes y prácticas agrícolas en la aplicación de

plaguicidas coloca de manifiesto que en la Subregión Mojana en el departamento de Sucre se están incumpliendo con la legislación en los Decretos 1843 de 1991, 1443 de 2004, 4741 de 2005, 1072 y 1076 de 2015, lo que coloca puede reflejarse en deterioros a la salud de los trabajadores agrícolas como daños al ambiente y denota una falta de acompañamiento de las autoridades competentes a nivel sanitario y ambiental. Este resultado es concordante con el trabajo de (Mengiestie, *et al.*, 2017) en Etiopía donde se encontró el incumplimiento legal en temas de plaguicidas por parte de los agricultores.

El no uso de elementos de protección personal-EPP es una actitud generalizada a nivel internacional así lo destacan los trabajos de (García, *et al.*, 2002), (Mahmoud, *et al.*, 2015), (Jianjun, *et al.*, 2015) y (Ntow, *et al.*, 2006), hechos en países de América, África y Asia. Los EPP son rechazados desde concepciones culturales y desinformación técnica alrededor de los plaguicidas, lo cual contrasta con la recomendación de la FAO (2002) que dice: usar adecuadamente los elementos de protección personal, de acuerdo a las recomendaciones de los pictogramas del lado derecho de la etiqueta.

El lavado de envases de plaguicidas ya utilizados y de los equipos de fumigación, sumado a la mala disposición de los residuos generados en las actividades de aplicación de plaguicidas en cuerpos de agua es una problemática ambiental crítica teniendo en cuenta que los plaguicidas, metales pesados y otras impurezas, son considerados por la Agencia de Protección al Ambiente (EPA, 1992 citado por García y Rodríguez, 2012) como contaminantes de acuíferos debido a su alta toxicidad, persistencia y movilidad, además de que afectan a importantes cargas hidráulicas, como lagunas y canales de irrigación; y por sus propiedades físicoquímicas, son resistentes a la degradación biológica (Hirata, 2002). Esta práctica agrícola

inadecuada fue evidenciada también en los trabajos de (Montoro, *et al.*, 2009), (Amador, *et al.*, 2017) y (Guerrero, *et al.*, 2013).

La asociación estadística hecha entre variables demostró que existe una relación entre implicaciones a la salud por el uso de plaguicidas y los niveles de estudio, lo cual es consecuente con lo citado por Muñoz y Ávila, (2005) "el tener trabajadores agrícolas aplicadores de plaguicidas, con bajos niveles de conocimientos académicos, incrementa los riesgos e impactos en los agroecosistemas, la salud humana y la vida silvestre". También es acorde con los trabajos de (Muhammad, *et al.*, 2015) y (Recena, *et al.*, 2006), los cuales encontraron que la probabilidad de usar adecuadamente los plaguicidas está en relación con los niveles de estudio y capacitaciones recibidas.

La situación del trabajador agrícola es precaria en cuanto a condiciones laborales, presentan riesgos muy altos de intoxicación con plaguicidas según metodología GTC 45 de 2010 y sumado a esto no cuentan con seguridad social que les permitan hacer parte de un sistema de seguridad y salud en el trabajo que garantice su integridad física y psicosocial de acuerdo al Decreto 1072 de 2015 y Resolución 1111 de 2017.

La subregión de estudio presenta grandes limitaciones principalmente en su acceso por el mal estado de las vías, lo cual se agrava en temporadas invernales por las constantes inundaciones, además los trabajadores agrícolas no reciben capacitaciones en prácticas de uso de plaguicidas y no cuentan con lugares legalizados para el acopio de residuos peligrosos lo que los obliga a disponerlos en las formas no adecuadas afectando el ambiente.

Esta investigación contribuyó a mostrar la situación laboral y de prácticas agrícolas de aplicación de plaguicidas lo cual es de gran interés

a nivel gubernamental para tomar decisiones y establecer políticas en pro del bienestar de los trabajadores agrícolas y la minimización de los posibles daños al ambiente, por lo cual se establecen las siguientes recomendaciones:

- Gestionar con las autoridades de salud el cumplimiento del decreto 1843 de 1991, art 170 que establece: las direcciones seccionales de salud deben desarrollar un programa específico de vigilancia epidemiológica de plaguicidas conforme a las normas del Ministerio de salud, lo cual no se está cumpliendo para la zona de estudio.
- Capacitar a los trabajadores agrícolas en prácticas sobre manejo de plaguicidas.
- Diseñar políticas de acopio de envases, en el cual se cree un sistema por parte de vendedor-comprador de devolución del envase de plaguicida como requisito para compra de nuevos productos, con el fin de facilitar el acopio y la disposición de los mismos, conforme a las disposiciones del Decreto 1075 de 2015.
- Gestionar con las autoridades ambientales la recolección de los envases pos consumo en los puntos de venta o tiendas agrícolas autorizadas.
- Sensibilizar sobre la importancia del uso de EPP y los factores de riesgos en la aplicación de plaguicidas a través de actividades lúdicas.
- Capacitar e implementar metodologías de control de plagas sin químicos y uso de plaguicidas orgánicos.

Literatura citada

- Amador, C., Luna, J. y Puello, E. (2017). Prácticas empleadas por fumigadores de plaguicidas del medio y bajo Sinú departamento de Córdoba. *Revista Temas Agrarios Volumen 22(1)*, 29 – 40. Recibido de http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:_Yf0UTAIBBMJ:revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/913/1119+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co
- Bejarano, J. (2012). Guía para la gestión ambiental responsable de los plaguicidas químicos de uso agrícola en Colombia. 22 - 3.
- Comisión Nacional De Seguridad y Salud En El Trabajo (2013). Guía para la vigilancia de la salud de los trabajadores del Sector Agrario. Recuperado de <http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/guiaAgrario.pdf>
- Decreto No. 1843. Ministerio De Salud. 22 de julio de 1991. Recuperado de http://www.dadiscartagena.gov.co/images/docs/normatividad/decretos/decreto_1843_22_07_1991.pdf
- Decreto No. 1441. Ministerio De ambiente y desarrollo territorial. 07 de mayo de 2004. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/18-dec_1443_2004.pdf
- Decreto No. 4741. Diario Oficial No. 46.137. Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial. 30 de diciembre de 2005. Recuperado de <http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/1524/02-28/Decreto4741de2005.pdf>
- Decreto No. 1477. Ministerio de Trabajo. Tabla de Enfermedades Laborales. 5 de agosto de 2014. Recuperado de <http://www.ins.gov.co/normatividad/Decretos/DECRETO%201477%20DE%202014.pdf>
- Decreto No. 1072. Presidencia de la Republica de Colombia. 26 de mayo de 2015. Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=62506>
- Decreto No. 1075. Presidencia de la Republica de Colombia. 26 de mayo de 2015. Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=62506>
- Del Puerto, A., Suarez, S. y Palacio, D. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 372-387. Recuperado en 08 de noviembre de 2017, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032014000300010&lng=es&tlng=es
- Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2003), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Programa de Desarrollo sostenible de la región de La Mojana, Bogotá,
- FAO (2002). Las buenas prácticas agrícolas. Recuperado de <http://www.fao.org/ag/esp/revista/faogapes.pdf>

- FAO (2010). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010 (Informe Especial No. 163). Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/013/i1757s/i1757s.pdf>
- García, C. y Rodríguez, D. (2012). Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. *Ra Ximhai*, 8 (3),1-10. Recuperado de <http://revistas.unam.mx/index.php/rxm/article/download/53787/47884>
- García, A., Ramírez, A. y Lacasaña, M. (2002). Prácticas de utilización de plaguicidas en agricultores. *Gac Sanit* vol.16 Cuernavaca, Morelos-México.
- Gentile N. & F. Mañas, (2003) Encuestas y talleres educativos sobre plaguicidas en pobladores rurales de la comuna de Río de los Sauces, Retel (30). Córdoba-Colombia.
- Guerrero A, Florián J (2013). Uso de fertilizantes y plaguicidas en el distrito de Poroto, Trujillo-La libertad, *Rev. SCIENDO* 16(1):91-102. Perú.
- Gobernación de Sucre, Análisis de la situación de salud del departamento de Sucre, Sucre, 2011, p. 13
- Hirata, R. (2002). Carga contaminante y peligros a las aguas subterráneas. *Revista Latino-Americana de Hidrogeología*. São Pablo, Brasil,(2), 81-90. Recuperado de <http://revistas.ufpr.br/hidrogeologia/article/view/2624>
- ICONTEC.-Guía técnica Colombiana GTC 45 (2010). Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional. Recuperado de <http://idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/gtc450.pdf>
- Instituto Técnico Agustín Codazzi (2012). Cartografía IGAC. Universidad de Córdoba
- Jianjun, J., Wenyu, W., Rui, H. & Haozhou, G.(2017). Pesticide Use and Risk Perceptions among Small-Scale Farmers in Anqiu County, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14, 29. Doi:10.3390/ijerph14010029
- Machado A, Ruiz M, Sastre M, Butinof M, et al (2012). Exposición a plaguicidas, cuidado de la salud y subjetividad. España y Portugal: Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe.
- Mahmoud S, Hashemi A, Reza R, Mohammad K y Christos A. (2012). Pesticide Use and Risk Perceptions among Farmers in Southwest Iran Human and Ecological Risk Assessment: *Rev. An International Journal*, 18:2, 456-470, DOI: 10.1080/10807039.2012.652472. Iran
- Mengistie B, Mol A, Oosterveer P, (2017). Pesticide use practices among smallholder vegetable farmers in Ethiopian Central Rift Valley. *Rev. Environ Dev Sustain*, 19:301–324 DOI 10.1007/s10668-015-9728-9. Etiopía.
- Ministerio de Educación Nacional [MEN] (2014). Sistema Nacional De Indicadores Educativos Para Los Niveles De Preescolar, Básica Y Media En Colombia. Recuperado de https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-329021_archivo_pdf_indicadores_educativos_enero_2014.pdf
- Montoro, Y., Moreno, R., Gomero, L., Reyes, M. (2009). Características de uso de plaguicidas químicos y riesgos para la salud en agricultores de la sierra central del Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 26(4): 466-472.
- Muhammad Khan a , Hafiz Zahid Mahmood a , Christos A. Damalas (2014). Pesticide use and risk perceptions among farmers in the cotton belt of Punjab, Pakistan. *Rev.ELSEVIER Crop Protection* 67 (2015) 184e190. China
- Muñoz, C. y Ávila, F. (2005), Los efectos de un impuesto ambiental a los plaguicidas en México, *Gaceta ecológica* 74, p. 44
- Mustapha, J., Dawood, A., Mohammed, A., Vimala, D. & Binson, T. (2017). Pesticide risk behaviors and factors influencing pesticide use among farmers in Kuwait. *Science of the Total Environment* 574, 490–498. Recuperado de <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:zZJtfulGsvEJ:https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/pesticide-risk-behaviors-and-factors-influencing-pesticide-use-among-4KgS2HmQmc+&cd=4&hl=es-419&ct=clnk&gl=co>
- Ntow, w., Gijzen, H., Kelderman, P. & Drechsel, P. (2006). Farmer perceptions and pesticide use practices in vegetable production in Ghana. *Pest Manag Sci* 62:356–365. DOI: 10.1002/ps.1178
- Organización Mundial de la Salud [OMS] (2010). The WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard and Guidelines to Classification 2009. Recuperado de http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44271/1/9789241547963_eng.pdf
- Oficina Internacional del trabajo [OIT] (sin fecha). Seguridad y Salud en la Agricultura. Recuperado de http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/--americas/--ro-lima/--ilo-buenos_aires/documents/publication/wcms_bai_pub_118.pdf

- PDSM (2003). Programa de desarrollo sostenible para la Región de la Mojana. Recuperado de http://www.planesmojana.com/documentos/estudios/PDSM-FAO%202003/251_Libro%20PDSM%20%282003%29.pdf
- Recena, M., Caldas, E., Pires, D. y Pontes, E. (2006). Pesticides exposure in Culturama Brazil-knowledge, attitude and practices., *Environmental research* (19). Culturama Brazil.
- Resolución No. 1111. Ministerio de Trabajo. 27 de marzo de 2017. Recuperado de <http://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/647970/Resoluci%C3%B3n+1111-+est%C3%A1ndares+m%C3%ADnimos-marzo+27.pdf>
- Salcedo A, Melo O, (2004). Evaluación del uso de plaguicidas en la actividad agrícola en el departamento del Putumayo.. *Ciencias de la salud* (3). Colombia
- Tobón, F., López, L. y Paniagua, R. (2010). Contaminación del agua por plaguicida en un área de Antioquia. *Rev. Salud Pública* 12 (2), 300-307

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

USO DEL SUELO Y SU INFLUENCIA EN LA PRESIÓN Y DEGRADACIÓN DE LOS RECURSOS HIDRICOS EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS

USE OF SOIL AND ITS INFLUENCE IN THE PRESSURE AND DEGRADATION OF WATER RESOURCES IN WATERSHEDS

Diego Javier Perez Ortega¹
Jorge Andrés Segovia Ortega²
Paulo Cesar Cabrera Moncayo³
Iván Andrés Delgado Vargas⁴
Marcelo Luiz Martins Pompêo⁵

¹ PhD en Ciencias Ambientales, Docente - Departamento de Recursos Naturales y Sistemas Agroforestales de la Universidad de Nariño - Colombia.

² Ingeniero Agroindustrial, Facultad de Ingeniería Agroindustrial - Universidad de Nariño.

³ MsE. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Agrícolas - Universidad de Nariño.

⁴ MS.c Agroforestería Tropical, Facultad de Ciencias Agrícolas - Universidad de Nariño.

⁵ PhD en Ciencias de la ingeniería Ambiental, Instituto de Biociências - Universidade de São Paulo.

¹ diegojperez77@gmail.com

² jorgesegovia2206@hotmail.com

³ paulocabrera28@gmail.com

⁴ ivandelgado5@gmail.com

⁵ mpompeo@ib.usp.br

Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo, determinar las relaciones existentes entre el uso de del suelo y la calidad del agua de la cuenca del rio Juqueri, mediante las correlaciones canónicas que existen entre los parámetros que componen el ICA y los cambios en el uso del suelo en los

últimos 30 años, esto a partir de imágenes de satélite LANDSAT 5, 7 y 8 mediante la clasificación supervisada, que determinó 6 clases de uso. Para determinar el ICA en la cuenca se recogieron 8 muestras en el período de verano y 8 en el invierno en los años 2015 y 2016 en 3

puntos de la cuenca, en su parte alta, media y en su desembocadura. Los resultados obtenidos revelaron que los cuerpos de agua sufrieron una disminución de área que pasó del 1,1% al 0,68% disminuyendo en total el 0,42%. En relación a ICA en algunos puntos muestrales se observaron valores por debajo de 51 que se clasifica como agua de calidad *Regular* para el consumo humano. Se encontraron correlaciones entre la disminución en los valores de DBO por las áreas urbanas. Ante lo expuesto, se verifica la necesidad, de planificación del uso de suelos y un continuo gerenciamiento del recurso hídrico de la cuenca.

Palabras Clave: Correlación canónica, herramientas estadísticas, índice de calidad de aguas, variable.

Abstract

The objective of this research was to determine the relationship between soil use and water quality in the Juqueri River basin, through the canonical correlations that exist between

the parameters that make up the IQW and the changes in soil use in the last 30 years, this from LANDSAT satellite images 5, 7 and 8 through the supervised classification, which determined 6 classes of use. To determine the IQW in the basin, 8 samples were collected in the summer period and 8 in the winter in 2015 and 2016 in 3 points of the basin, in its upper, middle and at its River mouth. The results obtained revealed that the water bodies suffered a decrease in area from 1.1% to 0.68%, decreasing a total of 0.42%. In relation to IQW in some sampling points, values were observed below 51, which is classified as Regular quality water for human consumption. Correlations were found between the decrease in BOD values by urban areas. Therefore, the need for planning the use of land and a continuous management of the water resources of the basin was verified.

Key words: Canonical correlation, statistical tools, variable, water quality index.

Introducción

Los diversos usos del suelo por el hombre alteran los procesos biológicos, físicos y químicos de los sistemas naturales y contribuyen a la reducción de la calidad del agua (Oliveira-Filho, *et al.*, 2012).

Existen características inherentes de una determinada cuenca hidrográfica que puede contribuir o potenciar la degradación ambiental en sus recursos hídricos, de ahí la importancia de determinar mediante índices e indicadores, como los cambios en el uso de la tierra, acompañados de las actividades antrópicas, ejercen una presión ambiental en estos recursos (Pérez-Ortega, *et al.*, 2016).

Partiendo de la hipótesis que la agricultura es la forma más representativa de las actividades antrópicas, pues ejerce cierta influencia en el ciclo hidrológico natural en las cuencas hidrográficas. Esto ocurre, en parte, por utilizar grandes cantidades de agua y contribuye con fuentes difusas de contaminantes (Ribeiro, 2009), además de influir en sus recursos hídricos, tanto en su calidad, cuanto en su cantidad.

Los cambios en la cobertura de suelo, perdiendo capa vegetal, seguramente ocasionan disminución de aportaciones hídricas, debido a su pérdida de capacidad de infiltración y recarga de acuíferos, ocasionando impactos negativos en la disponibilidad de los recursos hídricos en cualquier época del año.

De esta forma, la estructura temporal que el uso del suelo tiene naturalmente diseñada, se ve deteriorada por las actividades antrópicas, factor que ayuda a la escorrentía, en procesos como la erosión, lo cual degrada la calidad de aguas de esta cuenca, además de crear zonas críticas ocupadas por los sectores agrícola, forestal, urbano y turístico, ayudan en el crecimiento exponencial de la presión y fragilidad del agua de esta cuenca. Siendo así, se pretende identificar, si en la cuenca hidrográfica del río Juqueri la agricultura es la actividad antrópica más impactante en los recursos hídricos.

La calidad del agua de una cuenca hidrográfica puede verse afectada por varios factores antrópicos o naturales, así como la interacción entre ellos (Pérez-Ortega, *et al.*, 2016). Por lo tanto, los valores de referencia que reflejan la calidad del agua deben ser establecidos, preferentemente a través del monitoreo de los parámetros físicos, químicos y biológicos (Haddad, 2007).

En Brasil, la clasificación de los cuerpos de agua superficial en relación a su calidad es establecida por la resolución 357 del Consejo Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), sirviendo como soporte indispensable a los programas de gestión de los recursos hídricos (Brasil, 2005).

Por lo tanto, el ICA es un índice de evaluación de la calidad del agua que fue desarrollado en 1970, en los Estados Unidos, por la National Sanitation Foundation. A partir de 1975, comenzó a ser utilizado por la CETESB (Compañía Ambiental del Estado de São Paulo). Se compone de 9 parámetros para evaluar la calidad del agua que ayuda en el monitoreo y la gestión de los recursos hídricos.

El Índice de Calidad del Agua (ICA) es una herramienta para la evaluación de su calidad, más no permite identificar patrones de distribución de las circunstancias geográficas, históricas y

antrópicas ejercidas sobre los recursos hídricos y las respuestas a esos factores. Al trabajar en cuencas hidrográficas es necesario identificar su marco climático, geológico e histórico, pues cada cuenca tiene sus particularidades, que puede modificar las variables físicas, químicas y biológicas del agua (Pérez-Ortega, 2016).

El ICA es una fuente de información importantísima sobre el estado de calidad del agua de un manantial. Una vez determinado, sirve de referencia en la gestión ambiental, medio de divulgación de la calidad del agua a la sociedad civil y un mecanismo de reunión de parámetros en una única variable de fácil divulgación e interpretación (López 2007).

Mediante este índice se buscó identificar patrones de distribución de las circunstancias geográficas, históricas y antrópicas ejercidas sobre los recursos hídricos de la cuenca de estudio y sus respuestas a estos factores.

El embalse Paiva Castro entró en operación en 1974 y es el último reservorio del sistema Cantareira, es el principal manantial para abastecimiento público de la Región Metropolitana de São Paulo (RMSP) (CETESB, 2014).

El sistema Cantareira abastece al 65% de la población metropolitana de São Paulo, produciendo, por lo tanto, más de la mitad del agua consumida por los 19 millones de habitantes. Y es de donde la importancia de este estudio radica, ya que dentro de la cuenca hidrográfica del río Juqueri, se encuentra localizado este manantial extremadamente importante para la Gran São Paulo.

Debido a la necesidad apremiante de utilizar metodologías estadísticas que determinen las diferentes circunstancias referentes a los cambios en el uso del suelo y cómo influyen en las características de los recursos hídricos, hace

necesario, utilizar herramientas estadísticas para dicho fin, las cuales ayudan a reducir el universo de innumerables variables e identificando así las variables principales que determinen o modifiquen el impacto de los problemas ambientales en las cuencas hidrográficas (Pérez-Ortega, 2016).

Esta investigación buscó determinar las relaciones existentes entre el uso del suelo y la calidad del agua, mediante las correlaciones existen entre los parámetros que componen el ICA y los cambios en los últimos 30 años en el uso del suelo de la cuenca hidrográfica del río Juqueri, para identificar la presión antrópica que estos cambios ejercen sobre los recursos hídricos en la cuenca.

Para realizar este estudio, fueron necesarias metodologías estadísticas como son las correlaciones canónicas que permitieron verificar identificar cambios en las características

físico-químicas y biológicas de los recursos hídricos, determinando la relación o dependencia que existe entre las variables en el uso de la tierra que interviene en las variables de la variable calidad del agua (Downing, 2004).

Materiales y métodos

Localización de la Cuenca del Juqueri en el municipio de Mairiporã-SP

La cuenca del río Juqueri se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas 23°21'25" S y 45°52'40" W. La mayoría de su área se encuentra en el municipio de Mairiporã, en menor área se encuentra también en los municipios Atibaia, Nazaré Paulista, Guarulhos, Caieiras y Franco da Rocha (EMPLASA, 2000). El área total de la Cuenca del río Juqueri cuenta con 307,0 km² de los cuales 114Km² representan el área urbana, siendo el 80,1% del total se sitúa dentro del área de la Ley de Protección a los Manantiales (EMPLASA, 2000) (Figura 1).

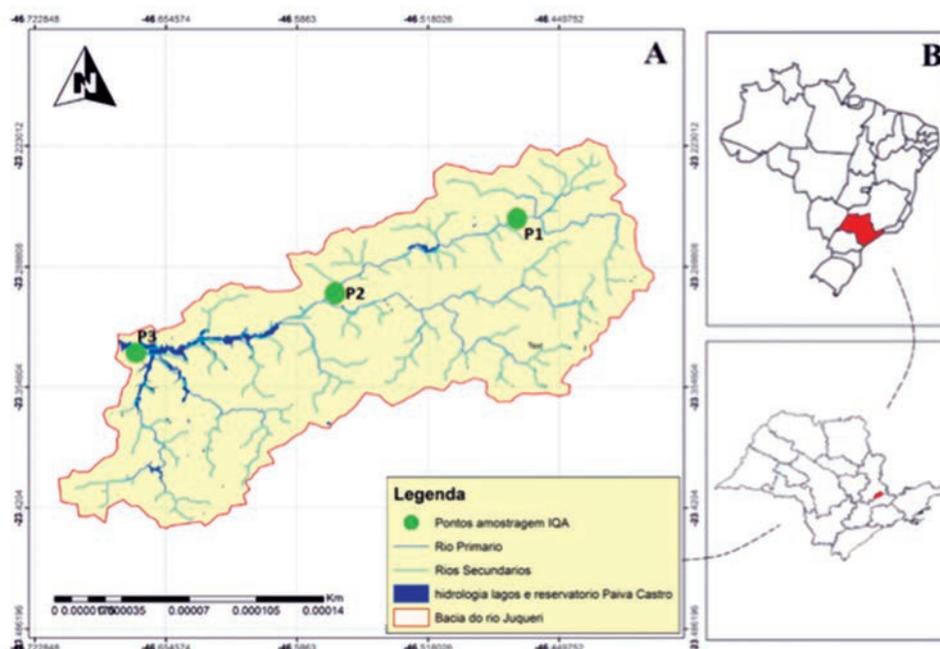


Figura 1. Localización de la Cuenca del río Juqueri - puntos de muestreo, (B) Estado de São Paulo en Brasil. (A) Cuenca del Río Juqueri en el Estado de São Paulo

Caracterización del uso y ocupación del suelo en la Cuenca del río Juqueri

Para la elaboración de los mapas de uso de suelos de los años 1986, 1992, 2003, 2011 y 2016, se realizaron combinaciones de 3 a 8 bandas multiespectrales obtenidas de los satélites Landsat 5, 7 y 8 con sus respectivas firmas espectrales de clases de cobertura obtenidas en la web del SERVICIO GEOLÓGICO DE LOS ESTADOS UNIDOS (USGS). Para la clasificación del área estudiada, se utilizó un método de interpretación en el Programa ArcGIS 10.3.

La interpolación en el Software ArcGis 10.3, predice valores para las celdas de un ráster a partir de una cantidad limitada de puntos de datos de muestra. Puede utilizarse para predecir valores desconocidos de cualquier dato de un punto geográfico, tales como: elevación, precipitaciones, concentraciones químicas, niveles de ruido, etc.

Este método se encuentra en la herramienta Spatial Analyst, con varios métodos de interpolación disponibles, siendo: La herramienta IDW (ponderación de distancia inversa), kriging, vecino natural, spline, spline con barreras, de topo a ráster y la tendencia de interpolación polinómica global (Martínez, 2013).

**Índice de calidad del agua (ICA)
Muestreo de aguas superficiales**

Este monitoreo proporciona información sobre la calidad natural de las aguas superficiales, suministrando valores de referencia para la reserva Paiva Castro. En general, se realiza el primer muestreo de aguas en las nacientes de los ríos, para así obtener una línea base sobre la pureza del agua a ser estudiada, posteriormente se realizan los análisis en los puntos en el centro de la cuenca para identificar las modificaciones temporales y al final de la cuenca, aguas abajo, para conocer los niveles de contaminación que llegan a ser depositados en sus recursos hídricos.

En el presente trabajo se analizaron los resultados obtenidos de las aguas del embalse Paiva Castro, para determinar los parámetros (Oxígeno disuelto, pH, Temperatura, Turbidez, DBO₅, Sólidos Totales, Nitrógeno Total, Fosforo Total y Coliformes termotolerantes), dando como resultado un valor referencia y la información global que compone el ICA, demostrando la influencia ejercida negativamente en el saneamiento del agua (Tablas 1 y 2).

Tabla 1. Parámetros de Calidad da agua ICA y respectivos pesos

| Parámetro | Peso (w) |
|---|----------|
| Oxígeno disuelto | 0,17 |
| Coliformes termotolerantes | 0,15 |
| Potencial hidrogenionico - pH | 0,12 |
| Demanda Bioquímica Oxígeno - DBO ₅ ,20 | 0,10 |
| Temperatura | 0,10 |
| Nitrogeno total | 0,10 |
| Fosforo total | 0,10 |
| Turbidez | 0,08 |
| Sólidos totales | 0,08 |

Fuente: ANA, 2004

Tabla 2. Clasificación de valores ICA

| Valores | Evaluación ICA |
|---------|----------------|
| 80-100 | Optima |
| 52-79 | Buena |
| 37-51 | Razonable |
| 20-36 | mala |
| 0-19 | Pesima |

Fuente: ANA, 2004

Puntos de muestreo

Estos fueron elegidos por las siguientes condiciones:

- La facilidad para el acceso con los equipos (turbidímetro, oxímetro, pH y termómetro) para hacer las respectivas lecturas.

- Se realizaron 3 colectas en la parte alta y media en el curso del río y en la parte baja de la cuenca en el embalse Paiva castro.
- Las muestras fueron recolectadas en el período de la mañana a las 8:00 am (Tabla 3).
- Las muestras se tomaron en los meses de Julio y Diciembre de los años 2015 y 2016, siendo una muestra semanal en total 4 muestras por mes 8 por año, buscando caracterizar los períodos de sequía y de precipitación.

Tabla 3. Coordenadas de los puntos de muestreo para el ICA

| Coordenadas | Aguas Superficiales | | |
|-------------|---------------------|---------------|---------------|
| | Punto 1 | Punto 2 | Punto 3 |
| Latitud | 23°15'54.51"S | 23°18'53.59"S | 23°19'51.93"S |
| Longitud | 46°28'51.77"W | 46°35'0.77"W | 46°40'40.22"W |

Selección de parámetros y metodologías analíticas para aguas superficiales

Para realizar los análisis de laboratorio y determinar la calidad del agua superficial, se utilizaron

los métodos estándar para la exploración de agua potable APHA-AWWA-WPCF (1995), además se incluye el método espectrofotométrico y lo descriptivo de los análisis de laboratorio (Tabla 4).

Tabla 4. Síntesis de los métodos y equipos empleados para análisis Físicos - Químicos y Microbiológicos y Límites de Detección. Variables para ser analizadas en las muestras de la cuenca del Juqueri

| Variable | Método | Límite de Detección | Equipos y Materiales |
|--------------------------------------|--|---------------------|--|
| Turbidez (NTU) | Nefelométrico | 0,01 | Turbidímetro/Hach/2100ANv1.2 |
| Color (uH) | Espectrofotométrico | 1 | Espectrofotometro Odyssey/Hach/DR-2500 |
| Temperatura (°C) | Electrométrico | 0,1 | pHmetro de membrana/Hanna/HI8314 |
| pH | Electrométrico | 0,01 | pHmetro de membrana/Hanna/HI8314 |
| NitrogenoTotal (mg l-1 N) | Digestión por Persulfato y Espectrofotométrico | 0,1 | 1. COD Reactor/ Hach 2. Espectrofotometro Odyssey/Hach/DR-2500 |
| (mg l-1 P) | PhosVer 3, Digestión por. Acido Persulfato y Espectrofotométrico | 0,01 | 1. COD Reactor/ Hach 2. Espectrofotometro Odyssey/Hach/DR-2500 |
| OD (mg l-1) | Método de Winkler Modificado | 0,1 | Oxímetro |
| DBO | Método de Diluciones, Incubado a 20°C, 5 días | 0,1 | Oxímetro |
| Sólidos Totales | Gravimétrico | 1,0 | 1. Cápsula de Porcelana 3. Balanza electrónica de Precisión de 0,1 µg/Bel Mark/U210A 3. Estufa/Marconi/MA033/ temp.120°C 4. Disecador/Pyrex/200mm |
| Coliformes termotolerantes (NMP l-1) | Contaje de Escherichia Coli | 1,0 | 1. Método colilert. Test simples de 24 horas para coliformes totales y E. coli |

Fuente: Adaptado de POLETO (2003).

Descripción de la metodología para la caracterización del uso del suelo de la cuenca hidrográfica del río Juqueri.

La Metodología adoptada fue del IDEAM, (2010) diseñada para la cartografía de los recursos naturales como: el suelo, el clima, la vegetación y usos del suelo, entre otros. Esta metodología es ideal para caracterizar la cobertura y uso actual de la tierra a escalas de: 1: 10.000, 1: 25: 000, y 1: 100.000 junto con la metodología CORINE Land Cover, homologada para Colombia y Brasil, realizada a partir de la interpretación visual de imágenes de satélite del sensor Landsat.

Pasos de la metodología caracterización del uso del suelo:

- Obtención de imágenes por satélite
- Clasificación de imágenes adquiridas de buena calidad
- Reglas de clasificación del método "Maximum Likelihood Classification".
- Validación de la clasificación en campo

Obtención de imágenes por satélite

Las imágenes adquiridas en esta investigación recibieron un tratamiento realizado por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), con una corrección estándar del terreno, nivel 1T, en lo que se refiere a la precisión radiométrica y geométrica sistemática, utilizando los modelos digitales de elevación SRTM, NED, CDAD, DTED, y GTOPO 30, para precisión y corrección topográfica.

Para la elaboración de los mapas de uso del suelo de los años 1986, 1992, 2003, 2011 y 2016, se realizaron combinaciones de 3 a 8 bandas multiespectrales obtenidas de los satélites Landsat 5, 7 y 8 con sus respectivas firmas espectrales de las clases de cobertura de la tierra del sitio USGS.

Reglas de clasificación del método "Maximum Likelihood Classification".

Existe un 1% de error al comparar las diferentes imágenes, por su resolución, otra diferencia notable es la reflectancia en las bandas correspondientes que cada sensor produce, de ahí que la clasificación visual (supervisionada) juega un papel muy importante a la hora de la clasificación del uso del suelo para cada imagen, pues por medio de técnicas de interpretación visual se generaron los resultados buscando la mayor veracidad en la clasificación final.

El método utilizado fue el "Iso Cluster" que utilizó el algoritmo de agrupación de Isodatos para determinar las características de las agrupaciones naturales de las celdas en el espacio de atributo multidimensional y almacenó los resultados en un archivo de firma ASCII de salida para posteriormente realizar la clasificación por el método "Maximum Likelihood Classification".

Validación de la clasificación en campo

Para la validación del método en esta investigación, se realizaron visitas de campo para identificar con exactitud las clasificaciones de los diferentes usos resultantes del procesamiento digital en el software ArcGIS 10.3 obtenidos.

Análisis estadístico

Se realizaron los análisis de correlaciones canónicas de los resultados obtenidos del ICA en la cuenca del río Juqueri y del uso del suelo, siendo las variables dependientes (parámetros ICA) y las independientes las modificaciones espaciales temporales ejercidas en la cuenca.

Para identificar las variables que determinaron la variabilidad en la calidad del agua en la cuenca, se realizó un análisis estadístico descriptivo multivariado, utilizando el software InfoStat Professional, Past 3.0, IBM SPSS Statistics y CANOCO 4,5 para Windows 8.

Se elaboraron matrices de correlación para encontrar la covarianza de cada par de variables medidas. En este caso, el coeficiente de correlación muestral representó la covarianza de los valores muestrales estandarizados, asumiendo valores en el intervalo [-1, 1].

Resultados y discusión

Clasificación supervisada del uso del suelo de la cuenca del río Juqueri

Se identificaron las coberturas para la clasificación, además de las líneas base de comparación para validar está. Los resultados de la clasificación se consolidaron en la Figura x, de las categorías, de la cobertura por el método de máxima verosimilitud, dando como resultado

seis clases: 1) cuerpos de agua - CA; 2) bosque - F; 3) pastoreo - P; 4) áreas urbanas - AU; 5) suelo expuesto - SE y 6) áreas agrícolas - AA. (Figura 2) (Anexo).

Se encontró una buena parte del área de la cuenca con problemas de suelos expuestos, específicamente un 11,26% del área total para el año 2016. Esta clase es muy susceptible a la erosión. Se reconoce que la cuenca hidrográfica del río Juqueri está siendo sometida a una fuerte presión ambiental, pues representa un gran atractivo para el sector inmobiliario, y el aumento en porcentaje en la clase de uso urbano, referente a los años de 2011 hasta 2016 pasó de 13, El 4% para el 17,51% del área total de la cuenca (Tabla 5).

Tabla 5. Valores uso del suelo cuenca del rio Juqueri

| Clases % | 1986 | 1992 | 2003 | 2011 | 2016 | 1986 – 2016 |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Cuerpos de agua | 1,1 | 1,08 | 1,01 | 0,96 | 0,68 | -0,42 |
| Bosques | 67,25 | 63,85 | 61,92 | 60,75 | 51,37 | -15,88 |
| Pastos | 24,45 | 9,28 | 7,88 | 15,7 | 15,22 | -9,23 |
| Áreas Urbanas | 4,02 | 7,19 | 9,99 | 13,04 | 17,51 | +13,49 |
| Suelos expuesto | 0,5 | 0,8 | 1 | 2,5 | 3,96 | +3,46 |
| Áreas agrícolas | 2,68 | 17,8 | 18,2 | 7,05 | 11,26 | +8,58 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| Clases ha | 1986 | 1992 | 2003 | 2011 | 2016 | 1986 - 2016 |
| Cuerpos de agua | 371 | 364 | 341 | 324 | 229 | -142 |
| Bosques | 22673 | 21526 | 20876 | 20481 | 17319 | -5354 |
| Pastos | 8243 | 3129 | 2657 | 5293 | 5131 | -3112 |
| Áreas Urbanas | 1355 | 2424 | 3368 | 4396 | 5903 | 4548 |
| Suelos expuesto | 169 | 270 | 337 | 843 | 1335 | 1167 |
| Áreas agrícolas | 904 | 6001 | 6136 | 2377 | 3796 | 2893 |
| Total | 33714 | 33714 | 33314 | 33714 | 33714 | |

El embalse Paiva Castro que está incluido en los recursos hídricos de la cuenca viene sufriendo una continua degradación, pues su área viene disminuyendo paulatinamente con el tiempo. De acuerdo con los datos obtenidos por esta investigación, la cuenca en

comparación de los años 1986 al año 2016 cuenta con menos del 0,42% de área de los cuerpos de agua.

Cabe resaltar que el embalse es una de las mayores riquezas de la cuenca en la que se

vienen generando fuertes impactos debido a la reciente construcción de casas de alto padrón en su perímetro.

Su belleza escénica hace también que muchos turistas visiten el embalse y terminen adquiriendo predios, incrementando el área urbana, donde para el año 1986 era del 4,02% del área total de la cuenca y para el 2016 se incrementó a 17,51%, además de ese crecimiento urbano sin planificación, el área urbana creciente viene acompañada de redes de alcantarillado y aguas residuales sin tratamiento que son liberadas en el embalse en natura.

Se observaron cambios también en las áreas de pastoreo que se disminuyeron en 3.112 ha comparado los años 1986 a los años 2016, donde se percibe que esta disminución fue sustituida por áreas urbanas (4.548 ha) y una pequeña porción por las áreas agrícolas (1.167 ha (Tabla 5).

Se resalta que, al ocurrir la disminución del área de los cuerpos de agua, aumenta la bioacumulación y biodisponibilidad de determinados contaminantes en el embalse Paiva Castro,

lo que ocasiona impactos sobre la salud de los seres vivos, incluyendo los invertebrados y las personas usuarias del abastecimiento por este cuerpo hídrico.

La mayor presión ambiental se encuentra en las clases de cuerpos de agua y en las capas forestales de la cuenca del río Juqueri, que a pesar de ser protegida por la Ley de Protección de los Manantiales - Ley Estatal 9,866 / 97, el área forestal que rodea el embalse se está reduciendo (Figura 3)

Se determina que existe gran presión ambiental ocurrida por los cambios en el uso del suelo en la cuenca, donde los mayores impactos fueron ocasionados en el período de los años 2011 hasta 2016, período en el cual se obtuvieron los mayores valores de pérdidas en áreas de clases muy importantes, como la clase de bosque, pastoreo y los cuerpos de agua registrados por las imágenes de satélite. Además, se identificó aumento en los valores de las áreas de las clases de suelo expuesto y para el área urbana, denotando una progresiva degradación ambiental (Figura 2).



Figura 3. Diminución en % del área de la clase Cuerpos de agua

Índice de calidad de aguas (ICA)

En cuanto a la clasificación del agua de la cuenca hidrográfica del río Juqueri según los valores de IQA, los encontrados fueron: el "Regular", que está entre los valores de (36 <51), y el "Bueno", que está entre los valores de " (51 <79).

El mes de julio tuvo más clasificaciones en el valor regular en el P2 y la semana 1 de julio tuvo siempre la clasificación "Buena" según el ICA. En el mes de diciembre los valores regulares de la clasificación según el ICA fueron más equitativos para todos los puntos, y

la semana 2 del mes de diciembre fue la que registró todos los valores por encima de 52, que significa una clasificación "Buena" según el ICA. Se observa también que en el mes de julio se obtuvieron un mayor número de muestras con valores de ICA "Regular", con un total de 10 muestras. Para el mes de diciembre sólo se obtuvieron 8 muestras con el ICA medio clasificado como "Regular", esto aumentando de 5 a 7 valores totales del ICA de muestra clasificadas como "Buena" (Tabla 6).

Esto podría significar, que el período de lluvia afecta de manera positiva al ICA de la cuenca del río Juqueri, pero el oxígeno disuelto disminuye en este período, al igual que el pH, el Nitrógeno total y el fósforo total. Los sólidos totales en el

P1 aumentan, pero en el P2 y P3 disminuyen su valor. En cuanto al resto de parámetros como la temperatura, los coliformes termotolerantes, DBO y la turbidez, éstos aumentan sus valores en el mes de diciembre. De esta forma, se concluye que existe una dinámica referente a los períodos de precipitación, pues, se puede afirmar que en el caso de la cuenca hidrográfica del río Juqueri algunos parámetros aumentan en este período y otros disminuyen en sus contenidos. Los mayores valores de ICA se encontraron en el P3, y los menores valores en P2 y P1. Cabe resaltar que los comportamientos del ICA en los puntos de la salida de agua y en el medio de la cuenca, evidencian una degradación paulatina al transcurso del río en la cuenca por las actividades antrópicas ejercidas en ésta.

Tabla 6. Valores obtenidos de ICA del agua de la Cuenca del río Juqueri en el año 2016.

| Fechas/Julio | P1 | P2 | P3 | Fechas/Diciembre | P1 | P2 | P3 |
|---------------------------|------|----|----|------------------|-------|-------|------|
| 1 | 52 | 55 | 52 | 2 | 56 | 52 | 50 |
| 9 | 51 | 45 | 51 | 9 | 55 | 54 | 56 |
| 16 | 39 | 38 | 54 | 16 | 49 | 47 | 51 |
| 30 | 46 | 50 | 51 | 21 | 50 | 46 | 49 |
| Promedio | 47 | 47 | 52 | Promedio | 52.5 | 49.75 | 51.5 |
| Promedio mes | 48,6 | | | Media mes | 51,25 | | |
| Media General de Muestras | | | | | 49,95 | | |

En color amarillo se clasifica el agua como Regular, en color verde se clasifica el agua como Buena, según la CONAMA 357/2005 de la Ley brasilera. Según la clasificación colombiana propuesta por Fernández & Solano (2005), el color amarillo se clasifica como agua de calidad media y el color verde como agua de calidad Buena.

Un fenómeno se dio en el P3, pues existe un ligero equilibrio en el embalse Paiva Castro, ya que éste mantiene cierta estabilidad, sobre el valor del ICA 50 (con excepción de la muestra del día 21 que llegó a 49). Esta estabilidad con altos valores de ICA indica que el embalse mantiene generalmente una buena calidad de agua y posee una gran capacidad de depurar los recursos hídricos que llegan a su perímetro.

Correlaciones canónicas entre ICA y uso del suelo de la Cuenca del río Juqueri

Correlaciones Canónicas entre los parámetros del ICA y el uso del suelo de la cuenca hidrográfica del río Juqueri.

En la Tabla 7 se insertan los valores de la desviación estándar, éste indica una medida de dispersión de los datos en torno a media muestral. El mayor valor se obtuvo en la variable de coliforme termotolerantes con un 4447,2 siendo un

valor alto que indica que los valores en los puntos muestreados están esparcidos por una amplia gama de valores y muestra contaminación por coliformes con altos valores en esta variable.

Las variables restantes obtuvieron valores relativamente bajos, indicando que los valores en los puntos muestreado tienden a estar más cerca de la media e indican cierta estabilidad en estos.

Tabla 7. Estadística descriptiva de los parámetros ICA

| | OD | T | Coliformes | pH | DBO | NT | P | Turb, | ST | IOA |
|------------------------|-----|------|------------|-----|-----|-----|-----|-------|-----|------|
| Promedio | 5,6 | 23,2 | 3411,3 | 6,6 | 4,2 | 1,8 | 0,4 | 4,0 | 0,0 | 50,1 |
| Desvió Padron | 1,2 | 3,7 | 4447,2 | 0,6 | 1,4 | 1,8 | 0,6 | 1,8 | 0,0 | 2,8 |
| Mínimo | 4,0 | 18,4 | 94,7 | 5,8 | 1,0 | 0,4 | 0,2 | 1,8 | 0,0 | 43,7 |
| Máximo | 9,4 | 28,8 | 13745,3 | 8,3 | 6,1 | 7,1 | 2,7 | 7,8 | 0,1 | 55,0 |
| Coefficiente Variación | 0,2 | 0,2 | 1,3 | 0,1 | 0,3 | 1,0 | 1,6 | 0,4 | 1,3 | 0,1 |

Las coliformes presentaron mayor promedio, desviación estándar y coeficiente de variación mientras que el pH mostró menor variabilidad (Tabla 7). Estos valores representan la totalidad de las estaciones muestreadas en la cuenca hidrográfica del río Juqueri. Los coeficientes de variación relativamente altos son indicación de la inconstancia de los valores de los parámetros a lo largo del tiempo y a lo largo de la línea salida aguas abajo, influyendo de manera relevante

en el ICA. Evidentemente, como consecuencia de las actividades antrópicas en el área de estudio, esta gran variabilidad se espera.

En referencia a la matriz de correlación, ésta permitió identificar las variables más significativas, que cumplen un papel importante en la interpretación de los datos del estudio. La dependencia de las variables medidas puede ser vista por medio de la matriz de correlación (Tabla 8).

Tabla 8. Matriz de correlación ACP de los parámetros del ICA y los usos del suelo

| | OD | T | COL | pH | DBO | NT | PT | TUR | ST | IOA | CA | F | P | AU | SE | AA |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| OD | 1,0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| T | 0,6 | 1,0 | | | | | | | | | | | | | | |
| COL | -0,4 | -0,4 | 1,0 | | | | | | | | | | | | | |
| pH | -0,5 | -0,6 | 0,9 | 1,0 | | | | | | | | | | | | |
| DBO | -0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 1,0 | | | | | | | | | | | |
| NT | -0,0 | -0,3 | -0,3 | -0,4 | -0,8 | 1,0 | | | | | | | | | | |
| PT | -0,3 | -0,5 | -0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 1,0 | | | | | | | | | |
| TUR | -0,6 | -0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,0 | -0,0 | 0,3 | 1,0 | | | | | | | | |
| ST | -0,3 | -0,2 | -0,5 | -0,5 | -0,5 | 0,8 | 0,1 | -0,1 | 1,0 | | | | | | | |
| IOA | 0,5 | 0,8 | 0,0 | -0,3 | 0,2 | -0,3 | -0,8 | -0,5 | -0,3 | 1,0 | | | | | | |
| CA | -0,8 | -0,8 | 0,2 | 0,3 | -0,1 | 0,4 | 0,3 | 0,6 | 0,5 | -0,7 | 1,0 | | | | | |
| F | -0,4 | 0,0 | -0,3 | -0,1 | 0,6 | -0,2 | 0,6 | -0,1 | 0,2 | -0,3 | 0,2 | 1,0 | | | | |
| P | 0,8 | 0,8 | -0,6 | -0,7 | 0,0 | -0,1 | -0,3 | -0,9 | -0,1 | 0,6 | -0,8 | -0,0 | 1,0 | | | |
| AU | -0,7 | -0,0 | 0,3 | 0,3 | 0,7 | -0,4 | -0,0 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,5 | -0,4 | 1,0 | | |
| SE | -0,0 | 0,6 | -0,2 | -0,3 | 0,5 | -0,3 | -0,3 | -0,5 | 0,1 | 0,5 | -0,2 | 0,5 | 0,3 | 0,6 | 1,0 | |
| AA | -0,2 | 0,5 | -0,0 | -0,1 | 0,6 | -0,4 | -0,3 | -0,3 | 0,0 | 0,4 | -0,0 | 0,4 | 0,1 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |

Los valores marcados con verde denotan correlaciones entre los propios parámetros del ICA, los marcados con rojo denotan correlaciones entre los parámetros ICA y el uso del suelo. (Error encontrado fue de 0,03).

Los resultados de las correlaciones identificadas entre parámetros del ICA fueron (T - OD con valor 0,6), (pH - Coliformes con valor 0,9), (Turb - pH con valor 0,9) siendo estas dos últimas las de mayor valor de correlación, (T - IQA con valor 0,8) y (ST - NT con valor 0,8).

En cuanto a las correlaciones canónicas la correlación que presentó los mayores coeficientes de correlaciones fue a (áreas Pasto - T con un valor 0,8) (Suelo expuesto - T con un valor de 0,6), esto denota una dependencia de los valores de la temperatura en cuanto a las temperaturas áreas de pastoreo y áreas de suelo expuesto contenidos en la cuenca (Tabla 8).

Al aumentar las áreas de pastoreo y suelos expuestos, disminuyen las áreas de bosque. La energía del sol entra directamente sobre el suelo y los recursos hídricos disminuyen por el aumento de la evapotranspiración, lo que ratifica la correlación entre la temperatura con las áreas de pastoreo y los suelos expuestos que viene aumentando en los últimos 30 años.

Correlación entre la DBO y las áreas urbanas

En la Tabla 8 y en las Figuras 4 y 5 se identifican las correlaciones entre DBO y el área urbana con un valor de 0,7, donde generalmente las aguas del alcantarillado de una ciudad se componen de desechos domésticos e industriales donde el parámetro más utilizado para clasificar si el alcantarillado es sanitario o industrial es la DBO, cuanto mayor sea DBO, mayor es la contaminación orgánica lo que podría explicar la correlación entre estas variables (Ferreira 2010).

Este autor también afirma que la composición del desagüe es bastante variable, presentando mayor contenido de impurezas durante el día y menor durante la noche. La materia orgánica, especialmente las heces humanas, confiere al alcantarillado sanitario sus principales

características, cambiantes con el transcurrir del tiempo, pues sufre diversas alteraciones hasta su completa mineralización o estabilización.

Mientras que el desagüe sanitario causa contaminación orgánica y bacteriológica, el industrial generalmente produce la contaminación química.

El efluente industrial, además de las sustancias presentes en el agua de origen, contiene impurezas orgánicas y/o inorgánicas resultantes de las actividades industriales, en cantidad y calidad variables con el tipo de industria. Los cuerpos de agua pueden recuperarse de la contaminación, o depurarse por la acción de la propia naturaleza. El efluente generalmente puede ser lanzado sin tratamiento en un curso de agua, siempre que la descarga contaminante no sobrepase cerca de cuarenta avos del caudal: un río con 120 L/s de caudal puede recibir de grosso modo la descarga de 3 L/s de flujo de acuerdo con la normativa vigente.

Según el PLAN MUNICIPAL DE SANEAMIENTO BÁSICO DE MAIRIPOR, los servicios de agua y alcantarillado son prestados por la Compañía de Saneamiento Básico del Estado de São Paulo - SABESP, a través de un contrato fechado de más de 30 años atrás y que tuvo su validez expirada en 2009. En los últimos 10 años, poco se ha hecho para Universalización del acceso al agua de abastecimiento, para garantizar la calidad del manantial y los recursos hídricos de la cuenca en cuestión y de asegurar las condiciones sanitarias de la población. De acuerdo con los censos de 2000 y 2010 realizados por el IBGE, la parcela de domicilios particulares permanentes del municipio con acceso a la red de abastecimiento pasó de sólo el 65% al 71%. La red de recolección de aguas residuales a su vez pasó solamente del 31% al 35% en el mismo período (IBGE 2012).

De este modo se concluye que más de la mitad de las alcantarillas generadas están dispuestas en

fosas o arroyos en natura. La insuficiencia del sistema colector existente viene comprometiendo la calidad de las aguas superficiales de la cuenca, así como de su propio manantial de abastecimiento, una vez que el efluente es lanzado desde el punto de captación, causando condiciones sanitarias insalubres. Esta realidad corrobora la correlación

existente entre la DBO y el Área Urbana, pues ésta viene creciendo a través del tiempo sin una planificación previa y más del 35% de las áreas urbanas del Municipio de Mairiporã no tiene red de recolección de aguas residuales, lo que intensifica la contaminación por materia orgánica y hace incrementar los valores de la DBO (Figura 4).

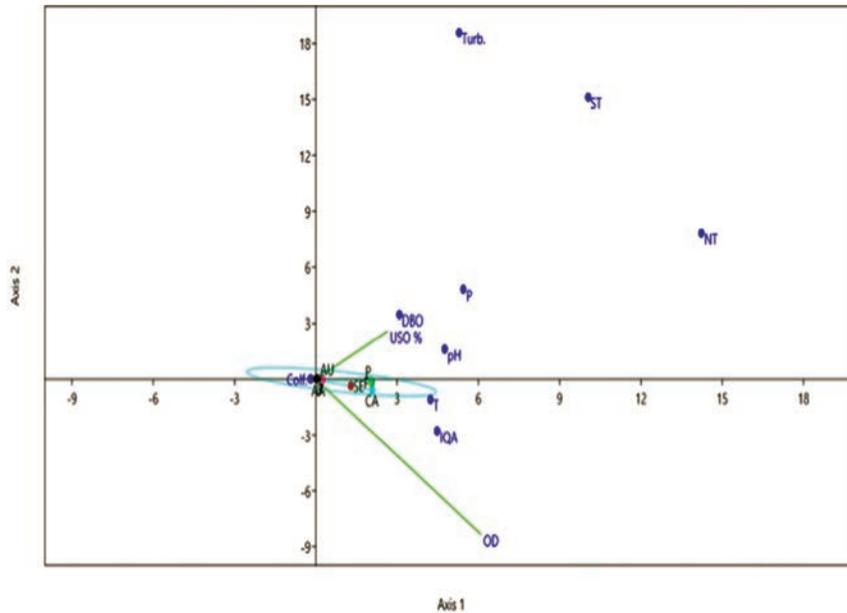


Figura 4. Correlaciones canónicas de las variables de uso de suelos y los parámetros del ICA de los ejes 1 y 2.

Fuente: esta investigación

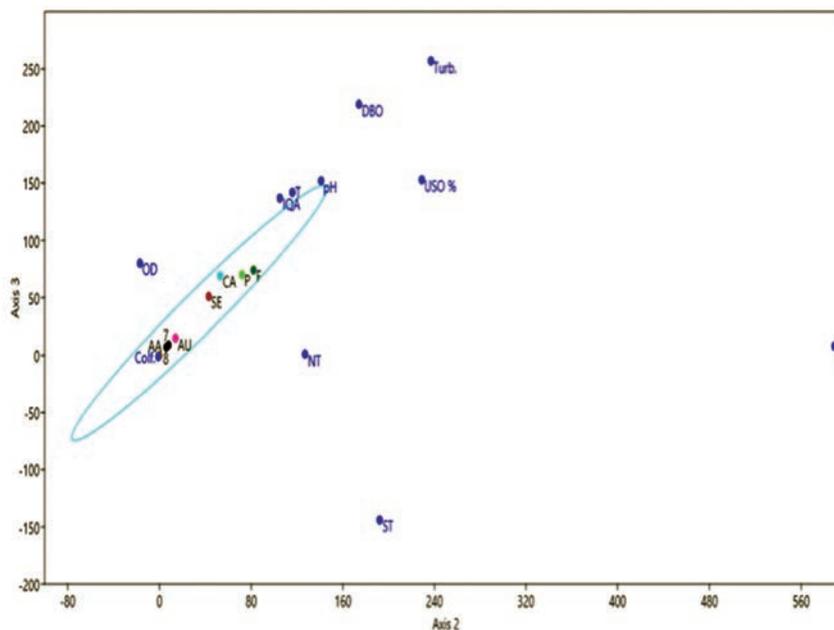


Figura 5. Correlaciones canónicas de las variables de uso de suelos y los parámetros del ICA de los ejes 2 y 3

Fuente: Esta investigación

Correlación entre la Turbidez y las áreas de los Cuerpos de agua

La Tabla 8 y las Figuras 4 y 5, también demostraron con un valor de 0,6 la correlación entre la turbidez con el área de los cuerpos de agua, los mayores valores de turbidez en la cuenca hidrográfica del río Juqueri se encontraron en el P2, punto que se encuentra al lado del área urbana en la cuenca.

Los autores Menezes, *et al.*, (2016), encontraron en la cuenca hidrográfica urbana del Ribeirão Rojo, que las cargas de sólidos en el agua y la turbidez, eran mayores en los puntos muestreados que eran secciones con fuerte ocupación agrícola y urbana.

Esto corrobora las correlaciones entre las áreas

urbanas y cómo estas modifican y empeoran los valores encontrados de turbidez tanto en esta investigación, cuando en la cuenca hidrográfica urbana del Ribeirão Vermelho.

Es bueno entender que la turbidez es una medida del grado en que el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión (presencia de fitoplancton o crecimiento de algas, sedimentos provenientes de la erosión, y el lanzamiento de efluentes, tales como el agua del flujo urbano mezclado).

A continuación se describen todas las correlaciones canónicas encontradas en la cuenca hidrográfica del río Juqueri obtenidas en las Figuras 4 y 5 (Tabla 9).

Tabla 9. Correlaciones canónicas Cuenca del río Juqueri

| Nº | Matriz correlación | Eje 1 e 2 | Eje 3 e 4 |
|----|--|--|---|
| 1 | *Temperatura - área de Pastos. | **Coliformes - área Urbana. | **Coliformes - área Urbana y Área Agrícola. |
| 2 | *Temperatura - área de Suelo expuesto. | *Temperatura - pastagem e Solo exposto. | *Temperatura - área da pastos y área de Bosque (influenciada por todos los usos de suelo) |
| 3 | DBO - Área Urbana | Correlaciona dos ST e NT - Turbidez, (afastados dos outros parametros) | Correlación Turbidez - DBO |
| 4 | DBO - Área Agrícola | ***Correlación todos los usos - Coliformes y Temperatura. | ***Correlación Todos los usos - Coliformes, Temperatura, pH y ICA |
| 5 | Turbidez - Área de cuerpos de agua | | Correlación ST - NT y el PT |
| 6 | PT - Bosque | | |
| 7 | ICA - Área de pasto | | |

* Corrobora las correlaciones entre (Temperatura - Pastoreo, suelo expuesto y Bosque)

** Corrobora las correlaciones entre (Coliformes - áreas urbanas y áreas agrícolas)

*** Corrobora las correlaciones entre (Todos los usos del suelo - Colif, T, pH e ICA)

Una variable que puede afectar mucho a los ecosistemas acuáticos es la turbidez, pues deteriora el proceso de fotosíntesis limitando el paso de la luz solar, la respiración y la

reproducción de la vida acuática, donde las partículas en suspensión absorben el calor del sol, tornando las aguas más turbias y más calientes, y reduciendo, así, la concentración de

oxígeno en el agua, disminuyendo la actividad fotosintética en las algas, lo que contribuye para disminuir aún más a concentración de oxígeno (CETESB, 2014).

Esta sería una correlación directa con la OD y la DBO, siendo así, en este caso podemos afirmar que en los períodos lluviosos los aumentos de cantidad de agua precipitada hacen lavado de las áreas que limitan el perímetro de los arroyos, ríos y del embalse Paiva Castro, llevando consigo material coloidal y suelo erosionado, lo que explicaría la correlación obtenida entre la turbidez y la clase de cuerpos de agua.

Correlación entre el Fósforo total y las áreas de Bosque

En las Figuras 4 y 5 y la Tabla 9, se identifican las correlaciones entre el fosforo y las áreas forestales. Ahora, una posible explicación para esta correlación es dada por Malavolta (1996), que afirma que los bosques desempeñan un papel importantísimo sobre el ciclo de carbono, los nutrientes minerales con el fósforo y la retención de agua en el suelo, lo que explicaría esta correlación.

El mismo autor afirma que existe una correlación directa entre las áreas con cobertura forestal (vegetación secundaria) y el P, debido a simbiosis de sus raíces con micorrizas, que en el período de lluvias sea por erosión de suelos o por flujo subterráneo el fósforo está disponible en los recursos hídricos de la cuenca hidrográfica del río Juqueri en pequeñas cantidades, también hay que decir que las mayores fuentes de fósforo son de fertilizantes hechos a base de éste y en las aguas residuales urbanas no tratadas.

Además, en un estudio en el embalse de Ituparanga, São Paulo, Cunha y Calijuri (2011) encontraron concentraciones de fósforo

cercanas a las determinadas en ese trabajo y concluyeron a partir de observaciones de datos de 16 reservorios brasileños que hay correlación positiva entre las concentraciones de fósforo total y clorofila en cuencas hidrográficas con uso del suelo predominantemente agrícola y forestal.

Existe una baja disponibilidad de nutrientes, principalmente de fósforo en los suelos de São Paulo y puede limitar el crecimiento de la vegetación secundaria. Sin embargo, los bosques tropicales presentan estrategias para maximizar la absorción de nutrientes, como asociaciones con hongos micorrícicos y producción de raíces apogeotrópicas, donde los bosques secundarios generalmente logran desarrollarse en suelos con deficiencia de fósforo posiblemente en parte debido al establecimiento de simbiosis de micorrizas y las raíces (Coelho y Verlengia, 1993).

Diversos factores ambientales pueden influenciar la colonización micorrícica y el crecimiento radicular en ecosistemas forestales, tales como disponibilidad de nutrientes y agua en el suelo, además de cambios en la cobertura del suelo (Malavolta, 1996).

Correlación entre el ICA y las Pastos

En las correlaciones encontradas en las Figuras 4 y 5 y plasmada en la Tabla 9, entre el ICA y las áreas de pastoreo, se encontró una similitud en el trabajo realizado por el autor Fia *et al.*, (2015), el cual encuentro en la cuenca hidrográfica del Ribeirão Rojo, a lo largo del río y de sus afluentes, valores de ICA bajos, y de calidad entre media a mala, y que estos valores eran resultado del área urbana del municipio de Lavras. Sin embargo, el mismo autor vio que existía un comportamiento de depuración de la calidad de sus aguas pasando por áreas ocupadas por áreas de bosque y pastos con vegetación secundaria. El autor afirma que los

valores de ICA que obtuvo no tuvieron niveles aceptables para el consumo, pero si encontró mejoras en los ICA mediante la autodepuración de los recursos hídricos. este fenómeno podría explicar las correlaciones entre el ICA y las áreas de pastoreo.

Conclusiones

El aumento poblacional del área urbana, acompañada de diversas interferencias humanas ligadas al mal uso del espacio urbano, incrementos de las áreas de suelos expuestos que son susceptibles a cualquier tipo de erosión, además de una disminución de bosques y degradación de sus recursos hídricos en cantidad y calidad, son problemas con los que la cuenca del río Juqueri necesita trabajar para reducir en cierto modo la fuerte presión ambiental en la que se encuentra sometida.

El ICA es una fuente de información importante sobre el estado de calidad del agua de la cuenca, pues clasificó sus recursos hídricos dando como resultado promedio de 49,28 clasificando el agua de la cuenca como Regular. Recordando que esta cuenca contiene un manantial importantísimo, el cual ofrece agua a 19 millones de personas en la ciudad de São Paulo. Esto deja claro que se necesita urgentemente una gestión de la cuenca para mejorar estos valores, recordando que sus recursos hídricos están clasificados como Clase I, según la legislación estadual paulista referente a los recursos hídricos superficiales (ley no 997 76, regulada por el decreto 8.468 76) , siendo estas aguas destinadas al abastecimiento doméstico, determinando que cualquier tipo de lanzamiento de aguas negras, incluso aguas tratadas está prohibido en los cuerpos hídricos de esta categoría (CETESB, 2014).

Los altos valores de la DBO sobrepasaron el valor estándar según la CONAMA 357/2005 que clasifica los cuerpos de agua y las directrices

ambientales para su encuadramiento. Esto implica una mayor cantidad de materia orgánica proveniente del área urbana, está siendo degradada por los microorganismos, que hacen disminuir la cantidad de oxígeno para las especies aerobias de los ecosistemas acuáticos, elevando la demanda del oxígeno disuelto, demostrando la existencia de la correlación entre la DBO y el pH y la DBO con las áreas urbanas.

Las correlaciones canónicas se mostraron muy útiles para determinar la presión y degradación de los recursos hídricos de la cuenca hidrográfica del río Juqueri, pues mediante estas fue posible simplificar y determinar que usos del suelo están impactando más la cuenca, además se verifico que las áreas urbanas y agrícolas influyen en la reducción de los valores de variables del ICA como la DBO y el oxígeno disuelto, además de aumentar los valores en otras como la turbidez, sólidos totales, nitrógeno y fósforo. Estas variables son muy importantes y están causando mayores impactos en los recursos hídricos, siendo así, se concluye las correlaciones canónicas ayudaron significativamente en la reducción de la complejidad y consecuentemente en la facilidad de la interpretación de los problemas ambientales en los recursos hídricos de la cuenca.

Se constataron correlaciones importantes entre la disminución en los valores de DBO por las áreas urbanas, y mejoras en los valores de ICA por las áreas de Pastoreo. Ante lo expuesto, se concluye que existe una necesidad urgente de planificación del uso y ocupación de suelos en el área de la cuenca.

Literatura citada

BRASIL. [homepage on the internet]. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências: Resolução nº 357 do Conselho Nacional de

- Meio Ambiente. [update 2005 Mar 18; cited 2017 Abril 10]. Available from: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>
- CETESB Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo – [homepage on the internet]. Índice de qualidade das águas – IQA. São Paulo. [update 2007 Fev 21; cited 2016 Dec 11]. Available from: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>
- COELHO, F.S. & VERLENGIA, F 1993. Fertilidade do solo. Campinas, Instituto Campineiro de ensino agrícola. 384p.
- Cunha DF, Calijuri MD 2011. Limiting factors for phytoplankton growth in subtropical reservoirs: the effect of light and nutrient availability in different longitudinal compartments. *Lake Reserv. Manag.* 27: 162-172.
- DOWNING, J.A. 2004. *A Manual on Methods for the Assessment of Secondary Productivity in Fresh Waters*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, England.
- FERREIRA W. Estudo de patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, das estações de tratamento de esgotos da ilha do governador e da Penha no estado do Rio de Janeiro. [Dissertação de Mestrado]. Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, 2010 [citado o 2016 Nov 10]. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/36168803_Estudo_de_patogenos_e_metalis_em_lodo_digerido_bruto_e_higienizado_para_fins_agricolas_das_estacoes_de_tratamento_de_esgotos_da_Ilha_do_Governador_e_da_Penha_no_Estado_do_Rio_de_Janeiro_electronic_reso.
- HADDAD, E. Influências antrópica na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio São Miguel, Carste do alto São Francisco, Minas Gerais. 2007. 156 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de pós-graduação em geografia, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, 2007.
- IBGE Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística 2012. Manual Técnico da Vegetação Brasileira, IBGE, Rio de Janeiro.
- IDEAM 2010. Leyenda nacional de coberturas de la tierra, Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- MALAVOLTA, E 1996. Manual de química agrícola: Nutrição de plantas e fertilidade do solo. São Paulo, Editora Agronômica Ceres. São Paulo. 528 p.
- MENEZES J, BITTENCOURT R, FARIAS M, BELLO I, FIA R, COUTINHO L 2016. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Vol.21 n.3. p 519-534.
- OLIVEIRA-FILHO PC, DUTRA AM, CERUTI FC 2012. Qualidade das águas superficiais e o uso da terra: estudo de caso pontual em bacia hidrográfica do oeste do Paraná. *Revista Floresta e Ambiente*, Seropédica, v.19, v.1
- PÉREZ-ORTEGA DJ, PÉREZ D, AMÉRICO J, CARVALHO S, SEGOVIA J 2016. Development of Index of Resilience for Surface Water in Watersheds. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, v.10, n.1, p.72-82.
- POLETO, C. Monitoramento e avaliação da qualidade da água de uma microbacia hidrográfica no município de ilha solteira - s.p. 2003. 150 f. 143 Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil na área de recursos hídricos e tecnologias ambientais, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, 2003.
- RIBEIRO KH. Qualidade da água superficial e a relação com o uso do solo e componentes ambientais na microbacia do rio Campestre, [Dissertação de Mestrado] Colombo. Universidade Federal do Paraná, 2009. [citado o 2016 Nov 10]. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010006832014000200030&script=sci_abstract&tlng=pt.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

VALIDACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PREDICCIÓN DE LA FERMENTACIÓN Y SECADO DEL GRANO DE CACAO

VALIDATION OF A MATHEMATICAL MODEL FOR THE PREDICTION OF FERMENTATION AND DRYING OF THE COCOA BEAN

Carlos Arturo Mejía Córdoba

Agrónomo. Complejo Tecnológico Turístico y Agroindustrial Del Occidente Antioqueño, Sistema de Investigación Desarrollo Tecnológico e Innovación (SENNOVA), Grupo de Investigación GIDOCA. Santa Fe de Antioquia, Colombia.

carmeco6@gmail.com

Resumen

El proceso de beneficio de cacao, determina la calidad final de los granos; en sus etapas se promueven precursores de color, sabor y aroma característicos a chocolate. El objetivo de esta investigación fue validar el desarrollo de un modelo matemático de superficie de respuesta, que tuvo en cuenta, variables de grano bien fermentado en función de la altura de las fincas, días de fermentación y secado y el contenido de humedad con lo que se busca, garantizar y asegurar la calidad final del grano, para ello, una vez generados los modelos se compararon los valores reales y los estimados por el modelo. Posteriormente se calculó el Error del pronóstico, el Error Absoluto Medio y Error Cuadrático Medio, como índices estadísticos para determinar la estimación entre los datos reales y los propuestos por el modelo. Finalmente, se pudo concluir que, al comparar los valores obtenidos con los predichos, para la variable, granos bien fermentados, se obtuvo un 44% de desviación entre los valores reales y los predichos. Sin embargo,

es posible afirmar que el modelo puede pronosticar el contenido de humedad del grano de cacao, con un nivel de confianza del 95%. Adicionalmente el R² registró un valor cercano a 1, con tan solo 1,4% de error, indicando que existe una fuerte correlación entre los datos reales y los pronosticados por el modelo, No obstante, se debe ajustar la herramienta, con variables de temperatura y humedad relativa, buscando mejorar la predicción y disminuir el error del modelo, para la variable, granos bien fermentados.

Palabras clave: Beneficio, Calidad, Fermentación, Poscosecha, Validación.

Abstract

The cocoa benefit process determines the final quality of the beans; in its stages, precursors of chocolate color, flavor and aroma are promoted. The objective of this research was to validate the development of a mathematical response surface model, which took into

account, variables of well-fermented grain depending on the height of the farms, days of fermentation and drying and the moisture content for ensure and guarantee the final quality of the grain; once the models were generated, the real values and those estimated by the model were compared. Subsequently, the Forecast Error, the Mean Absolute Error and the Mean Square Error were calculated as statistical indices to calculate the estimation between the real data and those proposed by the model. Finally, it was concluded that, when comparing the values obtained with those predicted, for the variable well fermented grains, 44% deviation was obtained between the real

and predicted values. However, it is possible to affirm that the model can predict the moisture content of the cocoa bean, with a confidence level of 95%. Additionally, the R² registered value close to 1, with only 1.4% error, indicating that there is a strong correlation between the real data and the predicted by the model. However, the tool must be adjusted with temperature and temperature variables, relative humidity to improve the prediction and to reduce the error of the model, for the variable, well-fermented grains.

Keywords: Benefit, Quality, Fermentation, Postharvest, Validation.

Introducción

La cosecha marca el final del crecimiento productivo del cultivo; sin embargo, a su vez, es el inicio de la preparación y acondicionamiento del grano para el mercado. El beneficio del grano no solo enmarca los procesos de fermentación y secado, inicia desde la recolección de frutos, garantizando su madurez fisiológica y su estado para un óptimo consumo.

La poscosecha del grano de cacao, consiste en cosechar, desgranar, fermentar, secar, limpiar y seleccionar el grano, garantizando así una óptima calidad. Es indispensable beneficiar el cacao para reducir pérdidas causadas por insectos, hongos, impurezas y eliminar excesos de otras partículas. La recolección o cosecha de mazorcas debe realizarse cuando hayan alcanzado la completa madurez, por lo general Sucede entre los 160 y 185 días después de la fecundación de la flor (Cortés, 1988). El tipo de cacao, el método de fermentación, la frecuencia de la remoción en los cajones, el volumen de cacao para fermentar, estado de madurez, condición sanitaria de los granos, son entre otros, factores influyentes en la duración

del proceso de beneficio del grano. Una vez extraídos los granos de la mazorca, el proceso de fermentación tiene como finalidad desprender el tejido mucilaginoso, impedir la germinación del embrión y así conservar los granos, desaparecer el color purpura y lograr como finalidad la disminución del sabor amargo y de la astringencia. Las características organolépticas del cacao mejoran a través de un correcto proceso del beneficio, pues este contribuye a generar procesos físicos y químicos encargados de generar compuestos precursores de aroma y sabor característicos a chocolate (Caligiani, Marseglia, Prandi, Palla, & Sforza, 2016; Hamdouche *et al.*, 2015; Ho, Zhao, & Fleet, 2015; John *et al.*, 2016).

En el proceso de fermentación se manifiestan gran cantidad de levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia kluyveri* y *Hanseniaspora uvarum* y muchas otras). infestando la pulpa cuando se desgranar las mazorcas (Ho, Zhao, & Fleet, 2014; Pereira, Soccol, & Soccol, 2016). El medio ácido y el bajo contenido de oxígeno favorece la actividad microbiológica

de las levaduras y dan comienzo a la fase hidrolítica anaeróbica. El sabor amargo o astringente de las almendras frescas de cacao, está íntimamente relacionado con el contenido de alcaloides (teobromina y Cafeína), que contienen los granos y constituyen el 1,8% de su peso. La coloración purpura morada o vidaceo que presentan las almendras frescas internamente se debe a los polifenoles (**catequinas, leucocianidinas**) y especialmente a las antocianinas que constituyen el 75% de las almendras (Cortés, 1988).

Cuando la pulpa se descompone, existe liberación de calor y la temperatura de la masa puede llegar a los 45° 50 ° C (Cubillos, Merizalde, & Correa, 2008). Se forma alcohol, ácido láctico y ácido acético que permeabilizan la testa o membrana que cubre los granos. Estos compuestos y la temperatura participan en la muerte del embrión propiciando la disolución y difusión de los pigmentos (antocianinas) y alcaloides (**teobromina y cafeína**) (Cubillos *et al.*, 2008) que producen el sabor amargo del producto (Miguel *et al.*, 2017).

Es importante revolver, mezclar o voltear la masa de los granos durante el proceso de fermentación con el propósito de facilitar la aireación romper los granos adheridos, prevenir la formación de hongos y hacer uniforme el proceso.

La calidad final de los granos de cacao está determinada en gran medida por el proceso de beneficio (fermentación y secado del grano) (Kongor *et al.*, 2016). El grano bien fermentado asegura que las almendras sean apreciadas y apetecidas por la industria, garantiza por ende su comercialización, tanto a nivel nacional como para exportación y justifica un mejor precio.

Al comparar las prácticas de fermentación y secado de los productores del occidente

antioqueño con las recomendaciones realizadas por la Federación Nacional de Cacaoteros, es posible identificar que no se cuenta con un criterio claro frente a este tema (FEDECACAO, 2012). Lo que cada productor está sujeto a ajustar sus prácticas de fermentación y secado de acuerdo al tipo de cacao producido y a las condiciones ambientales de su unidad productiva.

Buelvas Salgado (2016) reportó que la gran mayoría de los productores de cacao del occidente antioqueño fermentan y secan el cacao entre 4 y 6 días. La fermentación es realizada en cajones de madera, costales de fique o plásticos y en canecas plásticas. El secado es realizado generalmente en el suelo en costales de fique o tela. La falta de homogeneidad en las prácticas de fermentación y secado del grano, afectan directamente la calidad del cacao producido, obteniéndose porcentajes de fermentación por debajo de los requisitos exigidos en la (Norma Técnica Colombiana NTC 1252, 2003).

Con el fin de dar respuestas al sector productivo y mejorar los procesos de beneficio. El Complejo Tecnológico Turístico y Agroindustrial del Occidente Antioqueño, para el año 2016, diseñó el protocolo de fermentación y secado; una herramienta que busca estandarizar los procesos de beneficio del grano y, garantizar características óptimas de calidad para el mercado. Sin embargo, se hizo necesario poner a prueba el modelo en los microclimas del occidente antioqueño, con la finalidad de valorar la precisión y exactitud del mismo. El motivo de esta investigación fue validar un modelo matemático para realizar el beneficio del grano de cacao, y, ajustar algunas variables, para su medición y control, humedad del grano, % de granos bien fermentados, duración del proceso de fermentación y días de secado.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la subregión del Occidente de Antioquia específicamente en los municipios de Dabeiba, Frontino, Cañasgordas y Uramita. El área de estudio corresponde, según (Holdridge *et al.*, 1971) a bosque seco tropical (Bs-T), con una temperatura anual promedio de 25 °C (valores mínimos de 19°C y máximos de 40°C) y una precipitación promedio entre 1500 y 1800 mm/año.

Validación del modelo

La validación del protocolo inició con la visita a parcelas más representativas, en términos de producción de cada zona identificada, con la finalidad de geo-referenciar las fincas, establecer su altura sobre el nivel del mar, temperatura y humedad relativa, así como documentar la capacidad productiva y el proceso

de fermentación y secado del grano de cacao, que realiza cada productor.

Luego de insertar la altura de la finca productora, en la herramienta matemática y realizar un análisis de regresión no lineal en el Software DATAFIT, versión 8.1.69. Para estimar los días de fermentación y secado que son necesarios para obtener un grano de cacao que cumpla con los requisitos de calidad exigidos por la NTC 1252, (2003). Se realizó el montaje experimental de acuerdo a las condiciones establecidas por el protocolo de fermentación y secado del grano de cacao.

Datos predichos por el modelo matemático, para las variables, de altura, días de fermentación, días de secado, granos bien fermentados y contenido de humedad (Tabla 1). Cada corrida experimental se montó por triplicado.

Tabla 1. Datos predichos por la herramienta

| Altura Sobre el nivel del mar | Días de Fermentación | Días de Secado | Granos bien fermentados/ 100 granos | Granos insuficientemente fermentados/100 granos | Contenido de humedad en % (m/m), máx. | Calidad sensorial del grano |
|-------------------------------|----------------------|----------------|-------------------------------------|---|---------------------------------------|-----------------------------|
| 1200 | 7 | 6,46 | 79,92 | 16,6 | 6,5 | 7,79 |
| 1100 | 7 | 6,48 | 79,1 | 17,09 | 7,27 | 7,67 |
| 1000 | 7 | 6,5 | 78,27 | 17,58 | 8,2 | 7,56 |
| 900 | 7 | 6,54 | 78,27 | 17,67 | 7,03 | 7,44 |
| 600 | 7 | 6,88 | 76,39 | 17,63 | 6,87 | 7,027 |
| 800 | 7 | 6,6 | 79,18 | 15,56 | 6,95 | 7,3 |

Una vez generados los modelos se compararon los valores reales y los estimados por el modelo. Posteriormente se calculó el Error del pronóstico, el Error Absoluto Medio y Error Cuadrático Medio (Vidal Holguín, 2005), como índices estadísticos para determinar la

estimación entre los datos reales y los estimados por el modelo.

Error del Pronóstico (**E**): El error del pronóstico es representado por la siguiente expresión matemática $e_t = X_t - \hat{X}_t$

Donde:

e_t = Error del pronóstico para el periodo t .

X_t = Valor real de la observación en el periodo t .

\hat{X}_t = Pronostico de la demanda para el periodo t .

Error Absoluto Medio (EAM): El EAM es representado por la siguiente expresión matemática

$$EAM = \frac{\sum_{t=1}^n |x_t - \bar{x}_t|}{n}$$

Error Cuadrático Medio (ECM): El ECM es representado por la siguiente expresión matemática

$$ECM = \frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \hat{x}_t)^2}{n}$$

Modelo matemático

Para el desarrollo del modelo de fermentación y secado del grano de cacao, se utilizó una metodología de superficie de respuesta (D-optimal) para definir las condiciones adecuadas de beneficio post cosecha (fermentación y secado) del grano de cacao.

El diseño de experimentos costó de 18 corridas experimentales, y se conformó por tres factores (altura, días de fermentación, y días de secado), los cuales fueron evaluados en los siguientes niveles máximos y mínimos: Altura de 400 y 1200 m.s.n.m. Días de fermentación de 3 y 7 días. Días de secado de 3 y 6 días (Tabla 2).

Tabla 2. Diseño de superficie de respuesta

| Std | Run | Block | Factor 1 | Factor 2 | Factor 3 |
|-----|-----|---------|---------------------|-------------------------|-------------------|
| | | | A: Altura (m.s.n.m) | B: Días de Fermentación | C: Días de Secado |
| 2 | 1 | Block 1 | 400.00 | 5.00 | 4.50 |
| 5 | 2 | Block 1 | 800.00 | 7.00 | 4.50 |
| 11 | 3 | Block 1 | 800.00 | 3.00 | 4.50 |
| 18 | 4 | Block 1 | 400.00 | 7.00 | 6.00 |
| 14 | 5 | Block 1 | 1200.00 | 7.00 | 6.00 |
| 1 | 6 | Block 1 | 400.00 | 7.00 | 3.00 |
| 7 | 7 | Block 1 | 800.00 | 5.00 | 3.00 |
| 4 | 8 | Block 1 | 400.00 | 7.00 | 6.00 |
| 10 | 9 | Block 1 | 1200.00 | 5.00 | 6.00 |
| 13 | 10 | Block 1 | 1200.00 | 3.00 | 6.00 |
| 6 | 11 | Block 1 | 400.00 | 3.00 | 3.00 |
| 9 | 12 | Block 1 | 400.00 | 3.00 | 6.00 |
| 3 | 13 | Block 1 | 1200.00 | 7.00 | 3.00 |
| 17 | 14 | Block 1 | 1200.00 | 3.00 | 3.00 |
| 15 | 15 | Block 1 | 800.00 | 5.00 | 3.00 |
| 16 | 16 | Block 1 | 1200.00 | 7.00 | 3.00 |
| 8 | 17 | Block 1 | 1200.00 | 3.00 | 3.00 |
| 12 | 18 | Block 1 | 1000.00 | 5.00 | 4.50 |

Como variables respuesta del experimento se utilizaron las mismas de la caracterización inicial del grano de cacao, las fermentaciones fueron realizadas en cajones de madera y el secado solar en marquesinas.

Optimización matemática del modelo desarrollado

En el programa estadístico Design-Expert 6.0.8, se realizó una optimización matemática de las variables más importantes como lo son: altura de la unidad productiva, días de fermentación y de secado, grano bien fermentado, contenido de humedad. Obteniéndose como resultado los días de fermentación y secado necesarios para obtener un grano de cacao con calidad.

Evaluación del análisis de calidad del grano de cacao:

La evaluación de la calidad final del grano de cacao, se llevó a cabo conforme a las especificaciones técnicas, descritas en la (Norma Técnica Colombiana NTC 1252, 2003), en la cual se contemplan los siguientes requisitos de calidad: Contenido de humedad en % (m/m),

Contenido de impurezas o materias extrañas en % (m/m), Grano mohoso interno, número de granos/100 granos, Grano dañado por insectos y/o germinados, número de granos/100 granos, Contenido de pasillas, número de granos/100 granos, Contenido de almendras en % (m/m), Masa (peso) en g/100g, Granos bien fermentados, número de granos/100 granos, Granos insuficientemente fermentados, número de granos/100 granos, Granos pizarrosos, número de granos/100 granos.

Análisis fisicoquímicos: Se evaluó el contenido de humedad, %Xbh según la (Norma Técnica Colombiana NTC 1252, 2003), la actividad de agua (a_w) se realizó en un higrómetro de punto de rocío a 25°C (Aqualab Decagón modelo CX3), el pH, la acidez y los grados Brix, según Norma Técnica Colombiana NTC 440, 1971.

Resultados y Discusión

(Figura 1 y 2) presentan resultados, de valores predichos y reales, obtenidos para el modelo de fermentación y secado del grano de cacao.

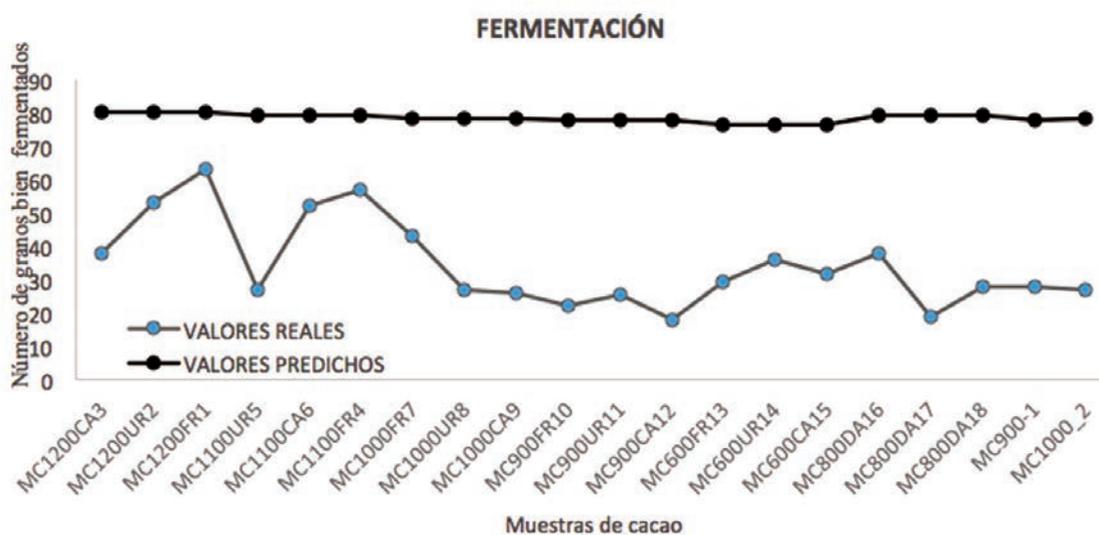


Figura 1. Valores reales y valores predichos por el modelo matemático para la variable fermentación del grano de cacao.

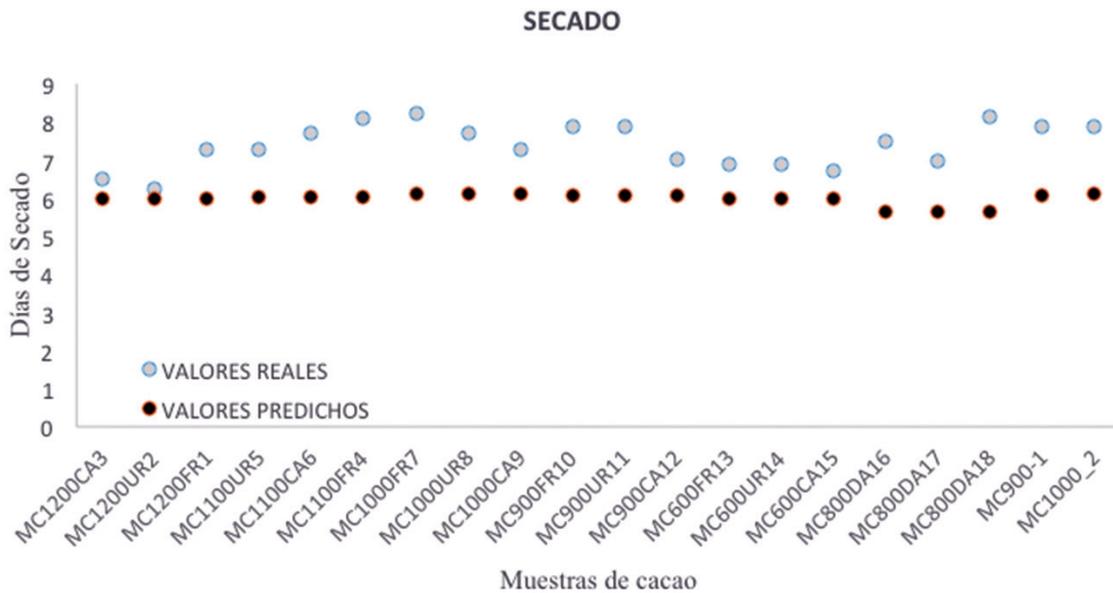


Figura 2. Valores reales y valores predichos por el modelo matemático para la variable secado del grano de cacao.

Las tablas 3 y 4 (ver anexos), presentan los índices estadísticos y los valores obtenidos en el pronóstico, para la variable de granos bien fermentados y el contenido de humedad del grano respectivamente.

Dadas las corridas experimentales diseñadas, para el análisis de la variable, granos bien fermentados (Tabla 3). Se evidencia un promedio de 34 granos bien fermentados, con márgenes entre (19) como mínimo número de granos bien fermentados obtenidos y 57 como valor máximo; ambos resultados, por debajo de lo predicho por la herramienta matemática. Por lo cual, es correcto afirmar, que los resultados, no alcanzan a cumplir con los estándares exigidos por la (Norma Técnica Colombiana NTC 1252, 2003) y, los predichos por el modelo. Adicionalmente, se puede concluir, que el modelo presenta un 44% de error al pronosticar el porcentaje de fermentación del grano de cacao, lo cual se ve reflejado en que el modelo, para el valor de R^2 , solo logra explicar el 34%

de los datos experimentales. Por lo tanto, se hace necesario mejorar la estimación del modelo incluyendo un mayor número de corridas experimentales en su construcción, para la variable, granos bien fermentados.

Resultados similares han sido reportados por (Pereira *et al.*, 2016), donde se llegó a la conclusión, de continuar con la investigación en procesos de fermentación en cacao, buscando mejorar los precursores de aroma y sabor, asegurando la calidad final del grano de cacao. (Ver en los anexos tabla 4)

De la Tabla 4, es posible afirmar que el modelo puede pronosticar el contenido de humedad del grano de cacao, con un nivel de confianza del 95%, dado que el valor p es 0.0177. Adicionalmente, el R^2 presenta un valor de 70%, indicando que existe una fuerte correlación entre los datos reales y los pronosticados por el modelo, lo que es confirmado al presentar un 1,4% en el error absoluto medio.

Resultados similares han sido reportados por (Amaiz., *et al.*, 2013)., donde indican que al someter el cacao fermentado, al proceso de secado al sol, la humedad disminuye dramáticamente hasta un nivel de 6,68%. Este nivel de humedad es seguro para almacenamiento, ya que tiene como fin completar el proceso de beneficio (deteniendo el proceso fermentativo) y eliminar la humedad del grano, que al final de la fermentación se estima entre 45 a 60% y luego descender a valores comprendidos entre 7 a 8% por efecto del secado.

Grano bien fermentado

Como se conoce, la cantidad, naturaleza y distribución de los microorganismos presentes en la pulpa de cacao determinará la velocidad y la intensidad de la fermentación, así como la calidad de los granos fermentados (N. Camu , T. De Winter , SK Addo , JS Takrama , H. Bernaert, 2008) citados por (Ramos, Dias, Miguel, & Schwan, 2014)peel, seed and pulp. The temperature of the cocoa mass increased during fermentations (24. \u00b0C to 47. \u00b0C. En tal sentido, la variedad de cacao, influye en las características y el crecimiento de microorganismos presentes en el proceso de fermentación. No obstante, para tener una mejor comprensión de los procesos de fermentación y de la calidad final del grano de cacao, es fundamental investigar el desarrollo de estas comunidades y poder alimentar la herramienta, ajustando los datos predichos y reduciendo su margen de error.

Como lo reportan (Pereira *et al.*, 2016), donde llegaron a la conclusión, de continuar con la investigación en procesos de fermentación en cacao, analizando otras variables, que influyen en los precursores de aroma y sabor, buscando, asegurar la calidad final del grano de cacao. Se deben incluir parámetros adicionales y, evaluar, variables como: temperatura, humedad relativa y homogeneidad de la variedad de cacao, para esta última, como lo mencionan (Ramos *et al.*,

2014)peel, seed and pulp. The temperature of the cocoa mass increased during fermentations (24. \u00b0C to 47. \u00b0C, donde cada material vegetal presentó características particulares: tamaño, cáscara, semilla, pulpa y la temperatura de la masa de cacao aumentó durante las fermentaciones entre (24 C a 47 C), para las diferentes especies.

Humedad del grano

El principal objetivo del secado es disminuir el contenido de humedad, acidez, astringencia y desarrollar el color a chocolate característico de los granos bien fermentados. (FEDECACAO, 2004). Se trata de bajar el grado de humedad (%), entre el 53% y 57% hasta el 6,5% y 7,5 %, exigido por el mercado. El grano de cacao debe estar beneficiado adecuadamente, seco, exento de olores extraños, libre de infestación por insectos, mohos internos, libre de granos múltiples y almendras partidas e impurezas (Norma Técnica Colombiana NTC 1252, 2003). El tamaño de la almendra o grano, contenido de grasa y porcentaje de cascarilla es importante para la industria, éstas demandan almendras con pesos superiores a 1 gramo, contenido de grasas del orden del 55% y que no superen el 12% de cascarilla (FEDECACAO, 2004).

Para los índices estadísticos obtenidos en la variable de contenido de humedad del grano, se obtuvo para la altura de 1200 metros, un promedio de 6.67% y de 7.68%, 7.72%, 7.58% 6.82%, y 7.51% para las alturas de 1100m. 1000m. 900m. 600m y 800 metros sobre el nivel del mar, respectivamente. Lo anterior, comparado con resultados predichos por el modelo, indican que los datos obtenidos se asemejan lo suficiente para tener una confiabilidad en la predicción del modelo para dicha variable. Sin embargo, es aconsejable continuar con el montaje de corridas, aumentar el número de factores a medir y parámetros establecidos, con el fin de mejorar la precisión de la herramienta.

Investigaciones realizadas por (Ramos *et al.*, 2014) peel, seed and pulp. The temperature of the cocoa mass increased during fermentations (24. \u00b0C to 47. \u00b0C señalan que conjuntamente con la pérdida de agua que se produce durante el secado, ocurre una merma de la acidez, específicamente de los ácidos volátiles. Esta disminución de la acidez es favorecida cuando el secado ocurre lentamente, y se establece un balance entre las velocidades de evaporación del líquido en la testa y de la difusión de los líquidos del cotiledón (Jinap, Thien, & Yap, 1994) titratable acidity and volatile fatty acids (VFA citados por Amaiz, Pérez, Álvarez y Perozo (2013).

Debido a que durante el secado continúan sucediendo los procesos bioquímicos de carácter enzimático, necesarios para la aparición de las sustancias precursoras del sabor y aroma deseables en el cacao de buena calidad, el mismo debe realizarse lentamente, pues un mal secado la deteriora.

Conclusiones

Es posible afirmar que el modelo puede pronosticar el contenido de humedad del grano de cacao, con un nivel de confianza del 95%, con respecto al valor indicado en la (Norma Técnica Colombiana NTC 1252, 2003). Lo que permite regular y controlar el contenido de agua, presente en el grano de cacao seco, que se procesa en la industria.

Los procesos de beneficio se implementan para desarrollar precursores de aroma y sabor, en el grano de cacao, influyendo directamente su calidad final. No obstante, para su desarrollo, se requiere la presencia y disponibilidad de levaduras, microorganismos y ácido bacterias, que se activan durante el proceso de fermentación y secado. Lo que hace indispensable, tener en cuenta estos elementos, para futuras investigaciones.

Adicionalmente, es indispensable, continuar con la toma de muestras y replicar el proceso, en próximas investigaciones, buscando reducir el error predicho y aumentando la asertividad del modelo matemático. Logrando estandarizar los procesos de beneficio, mejorar la calidad final de grano y obtener un mejor producto para el mercado.

Literatura citada

- Amaiz, Lares Mary., Pérez, Sira Elevina., Álvarez, Fernández Climaco., Perozo González S, José. (2013). Cambios de las propiedades físico-químicas y perfil de ácidos grasos en cacao de Chuao, durante el beneficio. *Agronomía Tropical*, 63(1–2), 37–47. Retrieved from http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2013000100004&lang=pt
- Buelvas Salgado, G. A. (2016). Incidencia de las prácticas de fermentación y secado sobre la calidad del grano de cacao producido en el Occidente antioqueño., 1–8.
- Caligiani, A., Marseglia, A., Prandi, B., Palla, G., & Sforza, S. (2016). Influence of fermentation level and geographical origin on cocoa bean oligopeptide pattern. *Food Chemistry*, 211, 431–439. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.072>
- Cortés, H. G. (1988). *El Beneficio del Cacao*. Medellín. https://doi.org/http://168.176.5.96/F/TEEUYP531RTRG52FU3EXO6NX4AH72PS5VVC5QU91P-3SAY1UUEY-46913?func=item-global&doc_library=SNB01&doc_number=000677020&year=&volume=&sub_library=EFEGO
- Cubillos, G., Merizalde, G., & Correa, E. (2008). Manual de beneficio del cacao 2008 ~, 29.
- FEDECACAO, (Federación Nacional de Cacaoteros) (2004). *El beneficio y características físico químicas del cacao (Theobroma cacao L.)*. Retrieved from <http://www.fedecacao.com.co/site/index.php/1pub-publicaciones>
- FEDECACAO (Federación Nacional de Cacaoteros). (2012). Manual de buenas prácticas agrícolas para el cultivo del cacao. Federación Nacional de Cacaoteros.
- Hamdouche, Y., Guehi, T., Durand, N., Kedjebo, K. B. D., Montet, D., & Meile, J. C. (2015). Dynamics of microbial ecology during cocoa

- fermentation and drying: Towards the identification of molecular markers. *Food Control*. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.05.031>
- Holdridge, L. R., Grenke, W. C., Hatheway, W. H., Liang, T. & Tosi, J. A. (1971). Forest environments in tropical life zones, a pilot study. Pergamon Press, Oxford. 747 p.
- Ho, V. T. T., Zhao, J., & Fleet, G. (2014). Yeasts are essential for cocoa bean fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, *174*, 72–87. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.12.014>
- Ho, V. T. T., Zhao, J., & Fleet, G. (2015). The effect of lactic acid bacteria on cocoa bean fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, *205*, 54–67. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.03.031>
- Jinap, S., Thien, J., & Yap, T. N. (1994). Effect of drying on acidity and volatile fatty-acids content of cocoa beans. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/DOI 10.1002/jsfa.2740650111>
- Amaiz, Lares Mary., Pérez, Sira Elevina., Álvarez, Fernández Climaco., Perozo González S, José. (2013). Cambios de las propiedades físico-químicas y perfil de ácidos grasos en cacao de Chuao, durante el beneficio. *Agronomía Tropical*, *63*(1–2), 37–47. Retrieved from http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2013000100004&lang=pt
- Buelvas Salgado, G. A. (2016). Incidencia de las prácticas de fermentación y secado sobre la calidad del grano de cacao producido en el Occidente antioqueño., 1–8.
- Caligiani, A., Marseglia, A., Prandi, B., Palla, G., & Sforza, S. (2016). Influence of fermentation level and geographical origin on cocoa bean oligopeptide pattern. *Food Chemistry*, *211*, 431–439. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.072>
- Cortés, H. G. (1988). *El Beneficio del Cacao*. Medellín. https://doi.org/http://168.176.5.96/F/TEEUYP531RTRG52FU3EXQ6NX4AH72PS5VVC5QU91P3SAY1UUEY-46913?func=item-global&doc_library=SNB01&doc_number=000677020&year=&volume=&sub_library=EFEGO.
- Cubillos, G., Merizalde, G., & Correa, E. (2008). Manual de beneficio del cacao 2008 ~, 29.
- FEDECACAO, (Federación Nacional de Cacaoteros) (2004). *El beneficio y características físico químicas del cacao (Theobroma cacao L.)*. Retrieved from <http://www.fedecacao.com.co/site/index.php/1pub-publicaciones>
- FEDECACAO (Federación Nacional de Cacaoteros). (2012). Manual de buenas prácticas agrícolas para el cultivo del cacao. Federación Nacional de Cacaoteros.
- Hamdouche, Y., Guehi, T., Durand, N., Kedjebo, K. B. D., Montet, D., & Meile, J. C. (2015). Dynamics of microbial ecology during cocoa fermentation and drying: Towards the identification of molecular markers. *Food Control*. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.05.031>
- Holdridge, L. R., Grenke, W. C., Hatheway, W. H., Liang, T. & Tosi, J. A. (1971). Forest environments in tropical life zones, a pilot study. Pergamon Press, Oxford. 747 p.
- Ho, V. T. T., Zhao, J., & Fleet, G. (2014). Yeasts are essential for cocoa bean fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, *174*, 72–87. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.12.014>
- Ho, V. T. T., Zhao, J., & Fleet, G. (2015). The effect of lactic acid bacteria on cocoa bean fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, *205*, 54–67. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.03.031>
- Jinap, S., Thien, J., & Yap, T. N. (1994). Effect of drying on acidity and volatile fatty-acids content of cocoa beans. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/DOI 10.1002/jsfa.2740650111>
- John, W. A., Kumari, N., Böttcher, N. L., Jean, K., Grimbs, S., Vrancken, G., ... Ullrich, M. S. (2016). Aseptic artificial fermentation of cocoa beans can be fashioned to replicate the peptide profile of commercial cocoa bean fermentations. *Food Research International Journal*, *89*, 764–772. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.011>
- Kongor, J. E., Hinneh, M., de Walle, D. Van, Afoakwa, E. O., Boeckx, P., & Dewettinck, K. (2016). Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean flavour profile - A review. *Food Research International*, *82*(January), 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.012>
- Miguel, M. G. da C. P., Reis, L. V. de C., Efraim, P., Santos, C., Lima, N., & Schwan, R. F. (2017). Cocoa fermentation: Microbial identification by MALDI-TOF

- MS, and sensory evaluation of produced chocolate. *LWT - Food Science and Technology*, 77, 362–369. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.076>
- N. Camu , T. De Winter , SK Addo , JS Takrama , H. Bernaert, L. D. V. (2008). Fermentation of cocoa beans: Influence of microbial activities and polyphenol concentrations on the flavor of chocolate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 2288–2297.
- Norma Técnica Colombiana NTC 1252, (ICONTEC). (2003). Norma colombiana NTC - 1252 - Cacao en grano. ICONTEC.
- Pereira, G. V. de M., Soccol, V. T., & Soccol, C. R. (2016). Current state of research on cocoa and coffee fermentations. *Current Opinion in Food Science*. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.11.001>
- Ramos, C. L., Dias, D. R., Miguel, M. G. da C. P., & Schwan, R. F. (2014). Impact of different cocoa hybrids (*Theobroma cacao* L.) and *S. cerevisiae* UFLA CA11 inoculation on microbial communities and volatile compounds of cocoa fermentation. *Food Research International*, 64, 908–918. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.08.033>
- Vidal Holguín, C. J. (2005). *Fundamentos de gestión de inventarios* (Universida). Cali, Valle: Universidad del Valle.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

INFLUENCE OF CUT, PACKAGING AND STORAGE TEMPERATURE ON PHYSICOCHEMICAL ASPECTS OF MINIMALLY PROCESSED CARICA PAPAYA CV. 'FORMOSA'

INFLUENCIA DEL CORTE, ENVASADO Y TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO SOBRE ASPECTOS FÍSICOQUÍMICOS EN CARICA PAPAYA CV. 'FORMOSA' MÍNIMAMENTE PROCESADA

*Paula Cristina Carvalho Lima*¹

*Bianca Sarzi de Souza*²

*Selina Fyfe*³

¹ *Plant Biology Department, Viçosa Federal University, Viçosa, Minas Gerais, Brazil.*

² *IFSULDEMINAS – campus Muzambinho, Minas Gerais, Brazil.*

³ *School of Agriculture and Food Sciences, The University of Queensland, Australia.*

¹ paulinhahlima@yahoo.com.br

Abstract

This study aims to verify the influence of cut, package and storage temperature on the physicochemical aspects of minimally processed 'Formosa' papaya. Fruits were selected, washed and sanitized, then stored for 12 h at 10 °C. At 12 °C, they were peeled and cut longitudinally in half, the seeds and tips were removed, then the fruit was cut into slices in the transverse direction (1.5-2-cm thick) or cut into 4 parts. Cut pieces were rinsed, drained and packed either into polyethylene terephthalate (PET) containers or on Styrofoam trays wrapped in polyvinyl chloride (PVC) film and stored at 4 or 8 °C. During storage, they were evaluated for soluble solids, titratable acidity, vitamin C, color (lightness, hue angle and chroma), texture, weight loss and appearance. Physicochemical

results showed the products maintained adequate quality for consumption and commercialization for up to nine days. The fruit stored at 4 °C maintained better texture and color, had lower weight loss and higher levels of vitamin C than those stored at 8 °C. The PET packaging minimized weight loss and the transverse direction cut type promoted less damage to the tissues, maintaining the quality and characteristics of the fresh fruit.

Keywords: 'Formosa' papaya, postharvest, storage, quality, texture.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue verificar la influencia del corte, envasado y temperatura de

almacenamiento sobre aspectos fisicoquímicos en papaya 'Formosa' mínimamente procesada. Los frutos fueron seleccionados, lavados, desinfectados, y luego almacenados durante 12 h a 10 °C. Después de esto, a 12 °C, fueron pelados y cortados longitudinalmente por la mitad, se eliminaron las semillas y las puntas, y luego se cortaron en rodajas, en la dirección transversal (1,5-2 cm de grosor) o se cortaron en 4 partes. Las piezas cortadas se enjuagaron, drenaron y embalaron en contenedores de tereftalato de polietileno (TPE) o en bandejas de espuma de poliestireno envueltas en película de cloruro de polivinilo (CPV) y almacenadas a 4 u 8 °C. Durante el almacenamiento, se evaluaron: sólidos solubles, acidez titulable, vitamina C, color (luminosidad, ángulo

hue y chroma), textura, pérdida de peso y apariencia. De acuerdo con las evaluaciones físico-químicas, los productos mantuvieron la calidad adecuada para el consumo y la comercialización, hasta por nueve días, presentando los productos almacenados a 4 °C, mejor mantenimiento de la textura, color, menor pérdida de peso y mayores niveles de vitamina C que los almacenados a 8 °C. El envase de PET minimizó la pérdida de peso y las rodajas partidas en la dirección transversal presentaron menos daño en los tejidos, además mantuvieron la calidad y características similares a las de la fruta fresca.

Palabras clave: Almacenamiento, calidad, papaya "Formosa", poscosecha, textura.

Introduction

Originally from America, the papaya (*Carica papaya* L.) is grown in more than 40 countries, with Brazil as the main world producer. The national papaya production in Brazil focuses on 'Hawaii' and 'Formosa' types, with 'Formosa' mainly aimed at the domestic market (Rocha *et al.*, 2005). The pleasant taste, good sugar content, low acidity, balance of nutrients and presence of vitamin C makes papaya a fruit that is greatly appreciated by consumers. It is known for its nutritional and beneficial properties to human health, and as an attraction for fresh markets and industry, and has achieved one of the largest growths in consumption in recent years (Martins, 2005).

The papaya is one of the most cultivated fruit trees and shows high consumption in tropical and subtropical regions of the world, with annual worldwide production of approximately 12.4 million tons (F.A.O., 2013). Brazil is the second largest producer of papaya, mainly in the states of Bahia and Espirito Santo,

responsible for about 90% of national production, showed an export volume of 37.9 tons in 2016, is among the main exporting countries and exports its production mainly to the European market (Carvalho *et al.*, 2017).

Although papaya is usually consumed fresh, its use is limited by the inconvenience of complicated peeling and the need for an adequate container for the fruit before it is consumed. The rate of consumption could be increased if properly packaged pieces were available for consumers in market, allowing it to be eaten more frequently and facilitating its use in various food services (Durigan & Durigan, 2014).

Fresh produce has an increasingly important place in the human food supply as the nutritional properties they contain promote health (Cardamone *et al.*, 2015). Minimally processed foods are a growing market trend that are practical for the consumer, provide agility in meal preparation and allow products to

maintain the nutritional and sensory qualities of the fresh produce while giving an extended shelf-life (Nascimento *et al.*, 2014).

There are some issues related to logistics involved in production and preservation of these products, essentially in the distribution channel and marketing, in which the maintenance of the cool chain is essential (Santos & Oliveira, 2012), therefore, the use of unconventional tools to preserve and extend the quality of minimally processed fruits and vegetables seem to be the future trend for improved products (Corbo *et al.*, 2015).

The operations carried out in the minimally processed fruit and vegetable products (peeling, seed withdrawal, cutting, etc.) can cause significant mechanical damage to plant products, causing increase the respiratory activity and ethylene production with a consequent increase in biochemical effects, including enzymatic discoloration and loss of flavor, firmness and nutritional qualities (Del Caro *et al.*, 2004). The peeling and cutting process promotes the release of enzymes, causing darkening of the fruit surface and negatively affecting the appearance of the product (Ragaert *et al.*, 2011).

According to Zubiolo *et al.* (2012) papaya is one of the best fruits in the world, both for its nutritional value, as for its medicinal power. So, due to economic importance related of consumption and for increasing research on minimally processed papaya, this study has been developed. The present study was conducted in the conditions of the city of Muzambinho in the southern state of Minas Gerais, Brazil, to evaluate physicochemical aspects related to the influence of packaging type, cut type and storage time in two storage temperatures (4 °C and 8 °C) on the minimally processed papaya cv. 'Formosa'.

Material and Methods

The 'Formosa' papaya was purchased at a local market in Muzambinho-MG, Brazil, at the commercial maturation stage (with up to 25% of the surface yellow), without detectable physiological defects and infections. Fruits were matured until they reached level 3 (50% to 75% of yellow skin) as indicated by Lima *et al.* (2005). Then, fruits were transported to the industry sector of the Federal Institute of the South of Minas Gerais - Muzambinho Campus, where they went through a process of selection, washing, sanitization with sodium hypochlorite (200 mg.L⁻¹) and storage for 12 h at 10 °C. After cold storage, the fruits were moved to a cold room (12°C) where they were peeled, cut longitudinally in half, the seeds and tips were removed, and then either cut into slices in the transverse direction about 1.5-2-cm thick (cut 1) or cut into 4 parts (cut 2). They were then rinsed in sodium hypochlorite (20 mg.L⁻¹), drained and packed either in polyethylene terephthalate (PET) containers or on Styrofoam trays wrapped in polyvinyl chloride (PVC) film and stored at 4 or 8°C. Sources of contamination during processing were minimized by sanitizing utensils with a sodium hypochlorite solution (200 mL.L⁻¹); operators wore gloves, aprons, caps and masks.

The following chemical characteristics of the fruit were evaluated during storage: soluble solids content - obtained using a digital refractometer (Atago PR 101) with results expressed in °Brix (A.O.A.C., 2012); titratable acidity - 10 g samples of homogenized pulp which were titrated with a standard 0.1 N sodium hydroxide solution until the samples reached pH 8.1, with results expressed as g citric acid.100 g⁻¹ (A.O.A.C., 2012); and vitamin C content - quantified in 10 g of pulp homogenate that was diluted in 50 mL of 5% oxalic acid and then titrated with Tillman reagent

(0.1% sodium 2,6-dichlorophenolindophenol), with results expressed as mg ascorbic acid.100 g⁻¹ of pulp (A.O.A.C., 2012).

The following physical characteristics of the fruit were evaluated during storage: color - determined using a chroma meter that expressed the results according to the system proposed by *Commission Internationale de L'éclairage* (CIE) in the L*a*b* color space, reported as the variables lightness (L*), color (hue angle) and chromaticity (chroma) (Minolta Corp., 1994); appearance - recorded and evaluated using a 5-point scale according Souza (2005) where: 1 = great ("fresh" appearance and natural color), 2 = good, 3 = regular (signs of wilting and/or drying and early softening), 4 = poor and 5 = very poor (wilting and/or dryness, darkening and softening), in which the minimally processed product was considered still suitable for sale if scoring up to 3 on the scale; texture - obtained using a penetrometer with an 8-mm tip, with three pieces of fruit in each package tested and results expressed in Newtons; and weight loss - measured using an analytical balance with 1200-g capacity and 0.1-g accuracy, calculated as the difference between the final weight and the initial weight of the package and expressed in percentage (%) of weight loss.

During storage, three replicates of 25 g of sample were transferred to 225 mL 0.1% peptone water, and from this, dilutions up to 10⁻⁴ were prepared. Afterwards, microbiological analyses were performed using the method described by Silva *et al.* (2010). The presence of *Staphylococcus* was evaluated by surface-scattering in Baird-Parker agar medium and incubated at 35 °C for 48 h. The presence of *Salmonella sp.* was determined with pre-enrichment in lactose broth, with incubation at 35 °C for 24 h, followed

by selective enrichment in tetrathionate broth and Rappaport's broth at 35 and 42 °C, respectively, for 24 h. For total and fecal coliforms, the most probable number (MPN.g⁻¹) technique was adopted, in which aliquots were inoculated in Lauryl Sulphate Tryptose broth (LST) with an inverted Dühran tube (presumptive test). Tubes were incubated at 35 °C for 24-48 h. Confirmatory tests for thermotolerant coliforms in *Escherichia coli* broth (EC) at 45.5°C for 24 h were performed in the tubes with positive reading (turbidity and gas formation).

Data were analyzed as a split plot design in a factorial scheme, the plots corresponding to package type (PET containers or Styrofoam trays wrapped in PVC film) X cut type (Cut 1 or Cut 2) and the sub-plots storage times (3, 6, 8 and 12 days), in completely randomized design, with three replicates, each experimental unit was a package containing 300-400 g of product. Data was evaluated at two storage temperatures (4 °C and 8 °C) and was submitted for variance analysis, the means of the analyzed parameters were submitted to the Tukey test with a 5% level of error probability. Statistical analysis was performed using Sisvar software (Ferreira, 2011).

Results and Discussion

Freshly processed 'Formosa' papayas stored at 4 °C and 8 °C did not show significant variation in the soluble solids contents in relation to the storage time and package type, all results were around 11 °Brix, as can be seen in Table 1. The only variation was in the storage at 8 °C where there was a slight decrease for cut type 2, which was similar to that observed by Argañosa *et al.* (2008) for minimally processed papaya cut into cylinders. In general, the observed values are in agreement with those presented by Oliveira Júnior *et al.* (2007) and Souza *et al.* (2005).

Table 1. Means of variables soluble solids ($^{\circ}$ Brix), titratable acidity (g citric acid.100g $^{-1}$) and vitamin C (mg ascorbic acid.100g $^{-1}$) of minimally processed 'Formosa' papaya products stored at 4 $^{\circ}$ C and 8 $^{\circ}$ C.

| | Soluble Solids | | Titratable Acidity | | Vitamin C | |
|---------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | 4 $^{\circ}$ C | 8 $^{\circ}$ C | 4 $^{\circ}$ C | 8 $^{\circ}$ C | 4 $^{\circ}$ C | 8 $^{\circ}$ C |
| Package | | | | | | |
| PET | 10.80 ^a | 11.13 ^a | 0,06 ^a | 0,08 ^a | 57.99 ^a | 50.19 ^a |
| Styrofoam | 10.98 ^a | 11.33 ^a | 0.06 ^a | 0.08 ^a | 57.92 ^a | 51.38 ^a |
| Cut | | | | | | |
| Cut 1 | 10.87 ^a | 11.56 ^a | 0.06 ^a | 0.08 ^a | 58.41 ^a | 52.47 ^a |
| Cut 2 | 10.91 ^a | 10.90 ^b | 0.06 ^a | 0.08 ^a | 57.50 ^a | 49.10 ^b |
| Time (Days) | | | | | | |
| 3 | 11.06 ^a | 11.23 ^a | 0.06 ^a | 0.07 ^b | 61.27 ^a | 53.04 ^a |
| 6 | 10.67 ^a | 11.14 ^a | 0.06 ^a | 0.07 ^b | 53.85 ^c | 51.34 ^a |
| 9 | 10.73 ^a | 11.20 ^a | 0.07 ^a | 0.07 ^b | 59.46 ^{ab} | 48.73 ^a |
| 12 | 11.10 ^a | 11.35 ^a | 0.06 ^a | 0.09 ^a | 57.24 ^{bc} | 50.04 ^a |
| F Test | | | | | | |
| Package X Cut | 0.01 ^{NS} | 0.12 ^{NS} | 0.51 ^{NS} | 0.43 ^{NS} | 1.86 ^{NS} | 0.39 ^{NS} |
| Package X Time | 1.95 ^{NS} | 0.99 ^{NS} | 0.13 ^{NS} | 0.77 ^{NS} | 0.95 ^{NS} | 1.23 ^{NS} |
| Cut X Time | 0.26 ^{NS} | 0.14 ^{NS} | 1.34 ^{NS} | 0.09 ^{NS} | 0.70 ^{NS} | 0.09 ^{NS} |
| Pack. X Cut X Time | 0.48 ^{NS} | 0.94 ^{NS} | 1.24 ^{NS} | 1.18 ^{NS} | 0.95 ^{NS} | 0.00 ^{NS} |

Means followed by the same lowercase letter in the column, for each variable and temperature, do not differ significantly (*P<0.05).

No significant differences were observed in titratable acidity contents, for package or cut type (Table 1). In the 8 $^{\circ}$ C storage there was an increase in titratable acidity during the storage period, caused by the maturation process. During storage time, there is loss of firmness which increases organic acids as a product of the pectinamethylesterase activity (Costa & Balbino, 2002).

Regarding ascorbic acid values (Vitamin C), no significant differences were observed for package type, however, there was a decrease in content for cut type 2 stored at 8 $^{\circ}$ C (Table 1). In general, the ascorbic acid contents in fruit stored at 4 $^{\circ}$ C (53.85 to 61.27 mg of ascorbic acid.100g $^{-1}$ of pulp) were higher than those

stored at 8 $^{\circ}$ C (48.73 to 53.04 mg of ascorbic acid.100g $^{-1}$ of pulp), but are still lower than the 76.7 mg of ascorbic acid.100g $^{-1}$ of pulp found by Souza *et al.* (2005).

The color variables (lightness, hue angle and chroma) were not influenced by the storage period (Table 2), however package and cut type did influence color. Cut type 2 showed a decrease in lightness, probably due to the greater processing leading to the decompartmentalisation of the enzymes and substrates, causing browning reactions. Such behavior is similar to that observed by Argañosa *et al.* (2008) where the cylinder type cut showed greater decreases in luminosity.

Table 2. Means of variables Lightness (L*), color (Hue angle), chromaticity (Chroma) of minimally processed 'Formosa' papaya products stored at 4° C and 8° C.

| | Lightness | | Color | | Chromaticity | |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 4° C | 8° C | 4° C | 8° C | 4° C | 8° C |
| Package | | | | | | |
| PET | 51.31 ^b | 51.16 ^a | 56.36 ^b | 55.13 ^a | 42.21 ^a | 42.65 ^a |
| Styrofoam | 54.79 ^a | 51.16 ^a | 57.56 ^a | 52.80 ^b | 43.07 ^a | 43.95 ^a |
| Cut | | | | | | |
| Cut 1 | 53.73 ^a | 53.09 ^a | 57.45 ^a | 54.55 ^a | 42.80 ^a | 44.13 ^a |
| Cut 2 | 52.37 ^b | 50.70 ^b | 56.46 ^b | 53.38 ^a | 42.48 ^a | 42.47 ^b |
| Time (Days) | | | | | | |
| 3 | 53.38 ^a | 52.33 ^a | 56.95 ^a | 54.93 ^a | 42.91 ^a | 44.05 ^a |
| 6 | 52.72 ^a | 52.16 ^a | 55.99 ^a | 53.89 ^a | 43.42 ^a | 43.83 ^a |
| 9 | 53.47 ^a | 51.33 ^a | 57.93 ^a | 54.28 ^a | 42.39 ^a | 42.14 ^a |
| 12 | 52.63 ^a | 51.77 ^a | 56.96 ^a | 52.75 ^a | 41.83 ^a | 43.17 ^a |
| F Test | | | | | | |
| Package X Cut | 0.23 ^{NS} | 0.59 ^{NS} | 0.02 ^{NS} | 15.18 [*] | 0.44 ^{NS} | 0.43 ^{NS} |
| Package X Time | 0.11 ^{NS} | 0.76 ^{NS} | 0.70 ^{NS} | 1.16 ^{NS} | 1.52 ^{NS} | 1.21 ^{NS} |
| Cut X Time | 0.36 ^{NS} | 2.33 ^{NS} | 0.54 ^{NS} | 2.91 [*] | 0.95 ^{NS} | 1.55 ^{NS} |
| Pack. X Cut X Time | 1.69 ^{NS} | 1.98 ^{NS} | 2.38 [*] | 12.16 [*] | 0.50 ^{NS} | 0.37 ^{NS} |

Means followed by the same uppercase letter in the column, for each variable and temperature, do not differ significantly (*P<0.05).

The package types influenced the color at both temperatures, and the cut type influenced it at storage at 4 °C, but chromaticity was influenced only by the cut type in products at 8 °C (Table 2). In general, those stored at 4 °C showed higher averages, which were larger on Styrofoam trays wrapped in polyvinyl chloride (PVC), while in those stored at 8 °C the highest averages were observed in PET packaging. This could be due to greater weight loss observed in the 8 °C temperature that accentuated the red coloration in the pulp, while at 4 °C there was better maintenance of the bright orange color of the product and less weight loss. At the 8 °C there was decrease in the chromaticity for cut type 2. In general, such

behavior was also observed by Argañosa *et al.* (2008), in which minimally processed papaya cut into cubes or rectangular blocks retained their natural yellow/red color for 10 days of storage, whereas it decreased in the cylinder cut fruit during the storage period.

Texture softening was observed in fruit stored at 4 °C (Table 3), which was similar to that found by Cortez-Vega *et al.* (2013), whereas the packaging and cut type did not influence this variable. In storage at 8 °C there were no changes as a function of the storage time or cut type, but there was for the packaging type, where there was better texture maintained in the PET packaging.

Table 3. Means of variables appearance, texture (Newtons) and weight loss (%) of minimally processed 'Formosa' papaya products stored at 4 °C and 8 °C.

| | Appearance | | Texture | | Weight Loss | |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 4 °C | 8 °C | 4 °C | 8 °C | 4 °C | 8 °C |
| Package | | | | | | |
| PET | 2.50 ^a | 2.62 ^a | 9.31 ^a | 7.23 ^a | 0.12 ^b | 0.24 ^b |
| Styrofoam | 2.25 ^a | 2.54 ^a | 10.35 ^a | 5.51 ^b | 0.62 ^a | 0.59 ^a |
| Cut | | | | | | |
| Cut 1 | 2.37 ^a | 2.46 ^b | 9.66 ^a | 6.78 ^a | 0.39 ^a | 0.43 ^a |
| Cut 2 | 2.37 ^a | 2.70 ^a | 10.00 ^a | 5.96 ^a | 0.35 ^a | 0.40 ^a |
| Time (Days) | | | | | | |
| 3 | 1.50 ^c | 2.08 ^c | 10.82 ^a | 6.04 ^a | 0.16 ^d | 0.21 ^c |
| 6 | 2.08 ^b | 2.58 ^b | 9.88 ^{ab} | 6.94 ^a | 0.32 ^c | 0.42 ^b |
| 9 | 2.50 ^a | 2.83 ^b | 10.69 ^a | 5.96 ^a | 0.44 ^b | 0.44 ^b |
| 12 | 2.83 ^a | 3.42 ^a | 7.92 ^b | 6.53 ^a | 0.57 ^a | 0.59 ^a |
| F Test | | | | | | |
| Package X Cut | 1.33 ^{NS} | 0.00 ^{NS} | 6.91 [*] | 0.02 ^{NS} | 0.01 ^{NS} | 2.07 ^{NS} |
| Package X Time | 0.56 ^{NS} | 0.17 ^{NS} | 1.32 ^{NS} | 0.58 ^{NS} | 18.49 [*] | 15.03 [*] |
| Cut X Time | 0.22 ^{NS} | 1.50 ^{NS} | 0.75 ^{NS} | 0.08 ^{NS} | 5.20 [*] | 2.54 ^{NS} |
| Pack. X Cut X Time | 0.22 ^{NS} | 0.33 ^{NS} | 2.80 ^{NS} | 0.38 ^{NS} | 2.27 ^{NS} | 4.61 [*] |

Means followed by the same lowercase letter in the column, for each variable and temperature, do not differ significantly (*P<0.05). Notes for appearance: 1= great; 2=good; 3=regular; 4=poor and 5=very poor.

The lower storage temperature (4 °C) minimized the softening of the fruit pieces, which is consistent with the results from Souza *et al.* (2005) that in minimally processed products of 'Formosa' papaya kept at 9 °C, there was greater softening of the pulp, while the lower temperatures (3 °C and 6 °C) minimized this softening. These changes can be attributed to changes in the structures and composition of the cell wall by the action of enzymes. The pectinamethylesterase plays a key role in the papaya ripening process, because it converts pectins with high methoxylation content into pectins with low content, which in turn can be hydrolyzed to pectates, softening their tissues during this process (Jiang *et al.*, 2003).

Fresh weight loss seen during the storage period of fruit products is due to the increased exposure of tissues to the environment and structure disruption, facilitating water loss by the tissues, and reducing the quality and shelf life (Tatsumi *et al.*, 1991). Table 3 shows that the losses in the products kept on Styrofoam trays wrapped in polyvinyl chloride (PVC) were always higher, which was attributed to the greater permeability of the packaging used. There were no significant differences for the cut type. This study showed there was a gradual increase in weight loss for both storage temperatures and storage time increased.

The appearance of the minimally processed products of 'Formosa' papaya stored at 4 °C and 8 °C showed variations during storage. The products maintained an adequate appearance for commercialization, indicated by a result below 3, until the 12th day for storage at 4 °C, and up to the ninth day for storage at 8 °C (Table 3; Figure 1). No significant effect of the packaging type and cut type was observed from storage at 4 °C, but at 8 °C cut type 1 showed better appearance after storage. In

general, in both storage temperatures, the products showed adequate quality for consumption and marketing higher than the 7 days for products stored at 3 °C, 6 °C and 9 °C detected by Teixeira *et al.* (2001), as well as the 8 days obtained for papaya cv. 'Golden' cut into cubes and stored at 5 °C (Oliveira Júnior *et al.*, 2007). For storage at 4 °C, the shelf life of the products was higher than the 10 days found by Souza *et al.* (2005) for 'Formosa' papaya stored at 3 °C, 6 °C and 9 °C.



Figure 1. Appearance of the minimally processed products of papaya cv. 'Formosa'. A- Cut type 1 packed either in PET containers and Styrofoam trays wrapped in PVC film and stored at 4 °C for twelve days; B- Cut type 2 packed either in PET containers and Styrofoam trays wrapped in PVC film and stored at 4 °C for twelve days; C- Cut type 1 packed either in PET containers and Styrofoam trays wrapped in PVC film and stored at 8 °C for nine days; D- Cut type 2 packed either in PET containers and Styrofoam trays wrapped in PVC film and stored at 8 °C for nine days.

The control of the hygienic conditions during the products handling appeared to be sufficient, as the presence of *Salmonella sp.* and *Staphylococcus* was not detected during storage. The presence of thermotolerant coliforms (45 °C) did not reach $<0.3 \text{ MPN.g}^{-1}$ during storage, which is lower than the 10^2 MPN.g^{-1} allowed by the Brazilian legislation

(RDC no. 12 of 01/02/2001) (Brasil, 2001).

Conclusions

Physicochemical results in this study showed that preparation processes used kept papaya at adequate quality for consumption and marketing up to 12 days at 4 °C and 9 days at 8 °C. Products stored at 4 °C showed

better maintenance of texture and coloring, lower weight loss and higher vitamin C content than those stored at 8 °C. PET packaging was more suitable for the minimization of weight loss, and cut type 1 (1.5-2-cm slices cut in the transverse direction) was more suitable as it caused less damage to the fruit tissues.

Acknowledgements

The authors thank to FAPEMIG - Research Support Foundation of the State of Minas Gerais, for the project financing (APQ-00926-09) and the scholarship grant awarded.

Cited literature

- AOAC. (2012) Association of Official Analytical Chemistry. *Official methods of analysis*. (19th ed). Gaithersburg, MD: AOAC International. 3000p.
- Argañosa, A. C. S. J.; Raposo, M. F. J.; Teixeira, P. C. M.; Morais, A. M. M. B. (2008) Effect of cut-type on quality of minimally processed papaya. *J. Sci. Food Agric.* 8 (12): 2050-2060. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.3309>
- Brasil. (2001) Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 12, de 2 de janeiro de 2001 - Definição de critérios e padrões microbiológicos para alimentos. Available in: http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/RDC_12_2001.pdf/15fdddf6-3767-4527-bfac-740a0400829b Access in: 01 February 2017.
- Carvalho, C.; Kist, B. B.; Santos, C. E.; Treichel, M.; Filter, C. F. (2017) Anuário Brasileiro de Fruticultura. Santa Cruz do Sul, RS: Editora Gazeta. 88p.
- Corbo, M. R.; Campaniello, D.; Speranza, B.; Bevilacqua, A.; Sinigaglia, M. (2015) Non-Conventional Tools to Preserve and Prolong the Quality of Minimally-Processed Fruits and Vegetables. *Coatings* 5 (4): 931-961. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/coatings5040931>
- Costa, A. F. S.; Balbino, J. M. S. (2002) Características da fruta para exportação e normas de qualidade. In: Folegatti, M. I. S.; Matsuura, F. C. A. U. (Ed.) Mamão: Pós-colheita (12-18). Brasília, DF: Embrapa - Mandioca e Fruticultura. (Frutas do Brasil, publicação número 21).
- Cardamone, C.; Aleo, A.; Mammina, C.; Oliveri, G.; Di Noto, A. M. (2015) Assessment of the microbiological quality of fresh produce on sale in Sicily, Italy: preliminary results. *J. Bio. Res.* 22 (1): 1-3. doi: <http://dx.doi.org/10.1186/s40709-015-0026-3>
- Cortez-Vega, W. R.; Piotrowicz, I. B. B.; Prentice, C.; Borges, C. D. (2013) Conservação de mamão minimamente processado com uso de revestimento comestível à base de goma xantana. *Semina: Ciências Agrárias* 34 (4): 1753-1764. doi: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n4p1753>
- Del Caro, A.; Piga, A.; Vacca, V.; Agabbio, M. (2004) Changes of flavonoids, vitamin C and antioxidant capacity in minimally processed citrus segments and juices during storage. *Food Chemistry* 84 (1): 99-105. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00180-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00180-8)
- Durigan, M. F.; Durigan, J. F. (2014) Tecnologia Pós-colheita e Processamento de Mamão: Qualidade e Renda aos Produtores Roraimenses. Boa Vista, RR: EMBRAPA. 27p. (EMBRAPA publicação número 55).
- F.A.O. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013) FAO statistics agriculture database. Available in: <http://www.fao.org> Access in: 01 december 2017.
- Ferreira, D. F. (2011) Sisvar: a computer statistical analysis system. *Cien. Agrotec.* 35 (6), 1.039-1.042. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- Jiang, C. M.; Wu, M. C.; Wu, C. L.; Chang, H. M. (2003) Pectinesterase and polygalacturonase activities and textural properties of Rubbery papaya (*Carica papaya* Linn.). *J. Food Sci.* 68 (5): 1590-1594. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb12296.x>
- Lima, A. S.; Ramos, A. L. D.; Marcellini, P. S.; Batista, R. A.; Faraoni, A. S. 2005. Adição de agentes antiescurecimento, antimicrobiano e utilização de diferentes filmes plásticos em mamão minimamente processado. *Rev. Bras. Frutic.* 27 (1): 149-152. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452005000100039>
- Martins, D. S. (2005) Papaya Brasil: mercado e inovações tecnológicas para o mamão. Vitória, ES: INCAPER. 666p.
- Minolta Corp. (1994) Precise color communication: color control from feeling to instrumentation. Ramsey, ND: Minolta Corporation Instrument Systems Division. 49p.

- Nascimento, K. O.; Augusta, I. M.; Rodrigues, N. R.; Pires, T.; Batista, E.; Barbosa Júnior, J. L.; Barbosa, M. I. M. J. (2014) Alimentos minimamente processados: uma tendência de mercado. *Acta Tecnológica* 9 (1): 48-61.
- Oliveira Júnior, L. F. G.; Carlos, L. A.; Cordeiro, C. A. M.; Coelho, E. M.; Araújo, T. M. R. (2007) Qualidade de mamão "Golden" minimamente processado armazenado em diferentes temperaturas. *Scientia Agraria* 8 (3) 219-224. doi: <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v8i3.9523>
- Ragaert, P.; Jacxsens, L.; Vandekinderen, I.; Baert, L.; Devlieghere, F. (2011) Microbiological and Safety Aspects of Fresh-Cut Fruits and Vegetables. In: Martín-Belloso, O.; Soliva-Fortuny, R. (Ed.). *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing* (53-86). London: New York, CRC Press.
- Rocha, R. H. C.; Nascimento, S. R. C. N.; Menezes, J. B.; Nunes, G. H. S.; Silva, E. O. (2005) Qualidade pós-colheita do mamão Formosa armazenado sob refrigeração. *Rev. Bras. Frutic.* 27 (3): 386-389. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452005000300012>
- Santos, J. S.; Oliveira, M. B. P. P. (2012) Revisão: Alimentos frescos minimamente processados embalados em atmosfera modificada. *Braz. J. Food Technol.* 15 (1): 1-14, 2012.
- Silva, N.; Junqueira, V. C. A.; Silveira, N. F. A.; Taniwaki, M. H.; Santos, R. F. S.; Gomes, R. A. R. (2010) Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos. (4 ed.) São Paulo, SP: Editora Varela. 624p.
- Souza, B. S. (2005) Processamento mínimo de manga: ponto de colheita, embalagem, 1-MCP, aditivos e atmosfera controlada. Tese de doutorado em Agronomia. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, São Paulo.
- Souza, B. S.; Durigan, J. F.; Donadon, J. R.; Teixeira, G. H. A. (2005) Conservação de mamão 'Formosa' minimamente processado armazenado sob refrigeração. *Rev. Bras. Frutic.* 27 (2): 273-276. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452005000200021>
- Tatsumi, Y.; Watada, A. E.; Wergin, W. P. (1991) Scanning electron microscopy of carrot stick surface to determine cause of white translucent appearance. *J. Food Sci.* 56: 1357-1362. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621>
- Teixeira, G. H. A.; Durigan, J. F.; Mattiuz, B.; Rossi Junior, O. D. (2001) Processamento mínimo de mamão 'Formosa'. *Cien. Tecnol. Alim.* 21 (1): 47-50. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612001000100011>
- Zubiolo, C.; Rodrigues, M. A. S.; Oliveira, M. C.; Aquino, L. C. L.; Nunes, M. L.; Castro, A. A. (2012) Estudo do desenvolvimento de bebida láctea funcional com adição de polpa de mamão e aveia. *Scientia Plena* 8 (3): 1-7.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

LOS COMPUESTOS FENÓLICOS: UN ACERCAMIENTO A SU BIOSÍNTESIS, SÍNTESIS Y ACTIVIDAD BIOLÓGICA

THE PHENOLIC COMPOUNDS: AN APPROACH TO THEIR BIOSYNTHESIS, SYNTHESIS AND BIOLOGICAL ACTIVITY

D.A. Martin G.

Magister en Química. Laboratorio de Espectroscopia y Análisis Instrumental, Grupo de Investigación Química-Física Molecular y Modelamiento Computacional (QUIMOL), Facultad de Ciencias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Avenida Central del Norte, Tunja, Boyacá, Colombia.

dario.martin@uptc.edu.co

Resumen

Los compuestos fenólicos hacen parte de uno de los grupos más abundantes dentro de los metabolitos secundarios. Éstos se biosintetizan en las plantas por medio de rutas como la del ácido shikímico y la del acetato-malonato. En esta revisión se hace alusión a algunos grupos de polifenoles que se originan en los vegetales, por medio de dichas vías. Por la ruta del shikimato se pueden producir ácidos aromáticos como el ácido corísmico, prefénico, quínico, gálico que pueden ser bloques de construcción de muchos otros compuestos más funcionalizados. También a partir del ácido cinámico se puede obtener grupos tan diversos como las cumarinas, las chalconas, los flavonoles, flavanonas, ligninas, lignanos. Si se hace referencia a la ruta del acetato-malonato, se pueden generar fenoles simples como el ácido 6-metilsalicílico y otros derivados como el ácido orsellínico, y derivados de los mismos. Debido a la importancia aplicativa de los polifenoles, se han planteado algunos métodos químicos de síntesis para obtenerlos, en este

documento se mencionan algunos. Gracias a su variedad en estructura química se presentan algunos resultados de investigaciones en donde se estudia la actividad biológica de los polifenoles, como reportes de actividades antioxidante, antimicrobiana, anticáncer, y otras actividades biológicas. Los compuestos fenólicos son un grupo muy diverso de metabolitos secundarios, que han sido y seguirán siendo estudiados, principalmente gracias a su actividad biológica, y a la necesidad de comprender sus biosíntesis en plantas y otros organismos.

Palabras Clave: Actividad biológica, biosíntesis de polifenoles, polifenoles, ruta del acetato-malonato, ruta del ácido shikímico, síntesis de polifenoles.

Abstract

The phenolic compounds are part of one of the most abundant groups within the secondary metabolites. These are biosynthesized in plants by means of routes such as shikimic

acid and acetate-malonate. In this review, they are mentioned some groups of polyphenols that are originated in vegetables by means of these routes. Through the route of the shikimate they can produce aromatic acids such as chorismic acid, preferential, quinic, gallic acid that can be building blocks of many other more functionalized compounds. Also, cinnamic acid can obtain groups as diverse as coumarins, chalcones, flavonols, flavanones, lignins, lignans. If the reference is made to the acetate-malonate route, simple phenols such as 6-methylsalicylic acid and other derivatives such as orsellinic acid and derivatives can be generated. Due to the applicative importance of polyphenols, some chemical synthesis methods have been proposed to obtain them,

some of which are mentioned in this document. Because of the variety of chemical structure some research results are presented where the biological activity of polyphenols was studied, as reports of antioxidant, antimicrobial, anticancer activities, and other biological activities. Phenolic compounds are a very diverse group of secondary metabolites, which have been and will continue to be studied, mainly through their biological activity, and the need to understand their biosynthesis in plants and other organisms.

Keywords: acetate-malonate pathway, biological activity, polyphenols biosynthesis, polyphenols synthesis, polyphenols, shikimic acid pathway.

Introducción

Las plantas sintetizan una gran cantidad de metabolitos primarios y secundarios. Los metabolitos primarios son moléculas que están directamente relacionados con funciones vitales de la planta, mientras que los secundarios son moléculas orgánicas que, a diferencia de los primarios, no parecen tener una función directa en procesos fotosintéticos, respiratorios, asimilación de nutrientes, transporte de solutos o síntesis de proteínas, carbohidratos o lípidos, y que se denominan metabolitos secundarios (también conocidos como productos secundarios, o productos naturales), y provienen todos de sustancias sintetizadas en el metabolismo primario, con algunas reacciones posteriores se forman las sustancias pertenecientes al metabolismo

secundario (Figura 1) (Almaraz, Ávila, Delgado, Naranjo, & Herrera, 2006) las rutas principales en la biosíntesis de los flavonoides son las rutas del ácido shikímico, poliacetatos y en menor medida el mevalonato. Los metabolitos secundarios además de no presentar una función definida en los procesos mencionados, difieren también de los primarios, en que ciertos grupos presentan una distribución no uniforme en el reino vegetal, es decir, no todos los metabolitos secundarios se encuentran en todos los grupos de plantas. Se sintetizan en pequeñas cantidades y no de forma generalizada, estando a menudo su producción restringida a un determinado género de plantas, a una familia, o incluso a algunas especies (Avalos & Pérez, 2009).

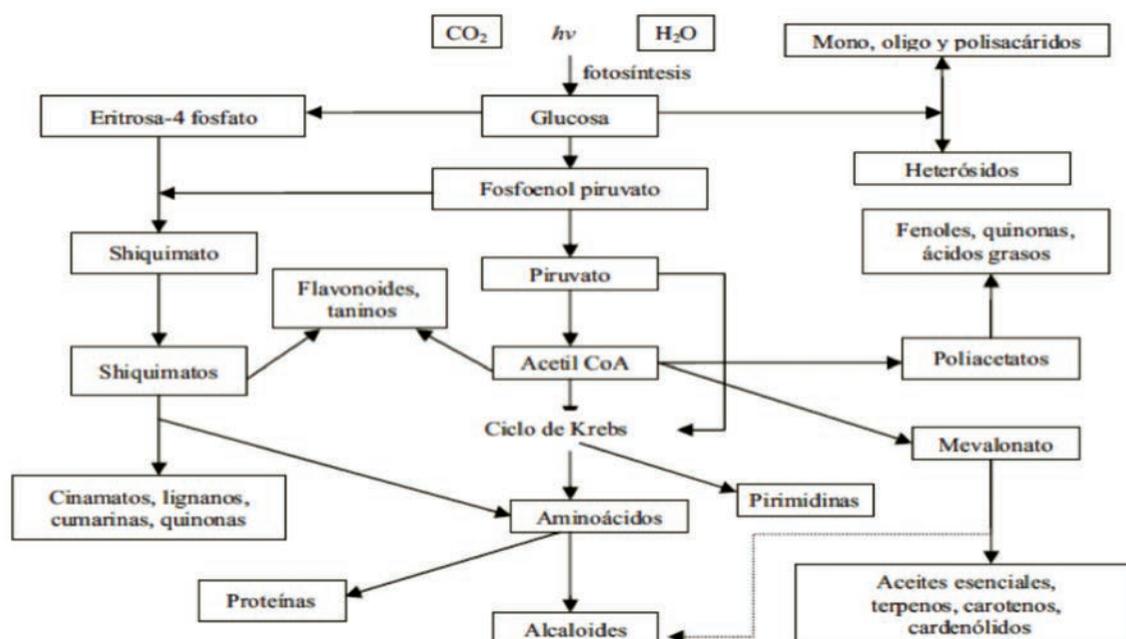


Figura 1. Relación entre metabolismo primario y secundario. Tomado de (Almaraz *et al.*, 2006).

Los metabolitos secundarios se agrupan en cuatro clases principales: terpenos, compuestos fenólicos, alcaloides y glucósidos (Kozikowski, Tückmantel, Böttcher, & Romanczyk, 2003). Aunque también hay en menor cantidad hidrocarburos, aldehídos, alcoholes, ácidos grasos, amidas, y ésteres, que son en gran medida responsables de muchos aromas en las plantas, posible actividad biológica, o son precursores de otros metabolitos secundarios (Croteau, Kutchan, & Lewis, 2000). Además tienen diferentes rutas de biosíntesis dentro del reino vegetal, la ruta del ácido mevalónico, y la deoxi-xilulosa fosfato para terpenos (Eich, 2008), la ruta del ácido shikímico y la ruta del ácido malónico para polifenoles (Avalos & Pérez, 2009; Isaza, 2007). Los alcaloides tienen una ruta metabólica compleja que implica las rutas del mevalonato, ácido shikímico (Loyola *et al.*, 2004), ácido malónico y mezclas de las mismas (Ziegler & Facchini, 2008) (Figura 1). Recientemente los investigadores recomiendan el consumo de una dieta rica en alimentos con altos contenidos de polifenoles,

ya que, pueden tener efectos benéficos sobre patologías cardiovasculares, virales e incluso antineoplásicas (Tomás-Barberán, 2003).

Debido a la gran diversidad de productos naturales que se pueden sintetizar en las plantas, el objetivo planteado fue recopilar investigaciones concernientes a la síntesis y biosíntesis de polifenoles, caracterización y actividad biológica, haciendo un enfoque químico, pues éste grupo de metabolitos son de gran interés gracias a su marcada acción antioxidante, a su relación en procesos de interacción planta-hervívoro, y como moléculas con muy buenos beneficios hacia la salud humana.

1. Los compuestos fenólicos o fenilpropanoides

Las plantas sintetizan una gran variedad de productos secundarios que contienen un grupo fenol. Estas sustancias reciben el nombre de compuestos fenólicos, polifenoles o fenilpropanoides y derivan todas ellas del fenol, un anillo aromático con un grupo hidroxilo

(Isaza, 2007). Químicamente, los compuestos fenólicos son un grupo muy diverso que comprende desde moléculas sencillas como los ácidos fenólicos, hasta polímeros complejos como los taninos condensados y la lignina. Dentro de los compuestos fenólicos también se encuentran pigmentos flavonoides. Muchos de estos productos están implicados en las interacciones planta herbívoro (Avalos & Pérez, 2009). Los flavonoides, también conocidos como bioflavonoides, forman un grupo de alrededor de 3,000 compuestos fenólicos que tienen una estructura química similar, dotándolos de propiedades funcionales importantes al ser consumidos. Estos metabolitos pueden encontrarse en todas las familias de plantas superiores y en casi todas las especies vegetales; es decir, que los flavonoides están presentes en todas las frutas, verduras y hierbas aromáticas. Se entiende por fenilpropanoides a compuestos de una amplia gama que biogenéticamente derivan del ácido shikímico en la llamada "ruta de los fenilpropanoides o del ácido shikímico", a través de la cual las especies vegetales biosintetizan más de 8000 compuestos fenólicos y polifenólicos cuya característica más relevante es su comportamiento antioxidante (Jovanovic, 2006). A continuación se mostrarán algunas rutas de biosíntesis para algunos de estos grupos y/o metabolitos secundarios pertenecientes a los compuestos fenólicos o polifenoles.

1.1. Biosíntesis de polifenoles

La ruta del ácido shikímico es la más importante para originar compuestos fenólicos, e inicia con el acoplamiento del fosfoenolpiruvato (PEP) y la D-eritrosa-4-fosfato, para obtener el ácido 3-deoxi-D- arabino-heptusolónico-7-fosfato (DAHP). Esta reacción tiene un mecanismo similar a una condensación de Claisen, aunque sucede catalizada enzimáticamente

preferentemente. La eliminación de ácido fosfórico del DAHP se lleva a cabo por una oxidación que genera un enol, gracias a la presencia del NAD^+ , y se forma un intermediario que sufre un re arreglo para convertirse en el ácido 3-dehidroquinico, que en presencia del NADH y de la misma enzima que oxidó el DAHP, en este caso, reducirá el ácido 3-dehidroquinico a ácido quinico. El ácido shikímico es formado por deshidratación del ácido 3-dehidroquinico, formándose primero el ácido 3-dehidroshikímico, que sufre una reducción en presencia de NADPH (Figura 2) (Dewick, 2002).

Los ácidos protocatequínico y el gálico son ácidos fenólicos que se forman por deshidratación del ácido 3-dehidroshikímico, posterior enolización (protocatequico) y una reducción con posterior tautomería cetoenólica (gálico), respectivamente. Por otra parte, el ácido shikímico es fosforilado en presencia de ATP, formando el ácido shikímico 3-fosfato, que se une a una molécula de fosfoenolpiruvato en medio ácido, reacción catalizada por la enzima 3-enolpiruvilshikímico-3-fosfato (EPSP) sintasa. El producto obtenido sufre una eliminación del grupo fosfato como ácido fosfórico, resultando así el ácido 3-enolpiruvilshikímico-3-fosfato (EPSP). El ácido corísmico se forma por una eliminación, probablemente concertada, del ácido fosfórico del EPSP (figura 3). El ácido prefénico es formado gracias a una transposición de Claisen, del grupo enolpiruvato, catalizada por la enzima enolpiruvato transferasa. Por último, para la formación de fenilalanina, el ácido prefénico sufre unan descarboxilación, la eliminación de un grupo hidroxilo, y una sustitución del oxígeno cetónico por un grupo amino, para dar como resultado la L-fenilalanina (L-Phe) (Dewick, 2002), estas reacciones son catalizadas por una enzima descarboxilasa, una reductasa y una aminoliasa (Figura 3).

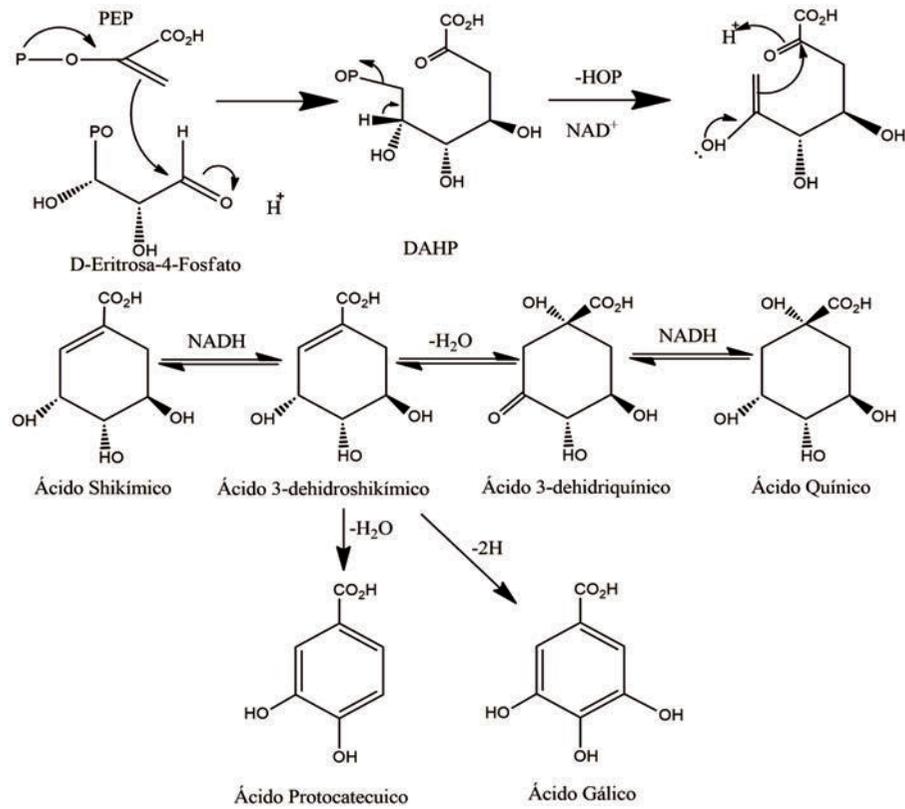


Figura 2. Formación del ácido shikímico a partir de fosfoenolpiruvato y eritrosa 4-fosfato.
Fuente de: (Dewick, 2002).

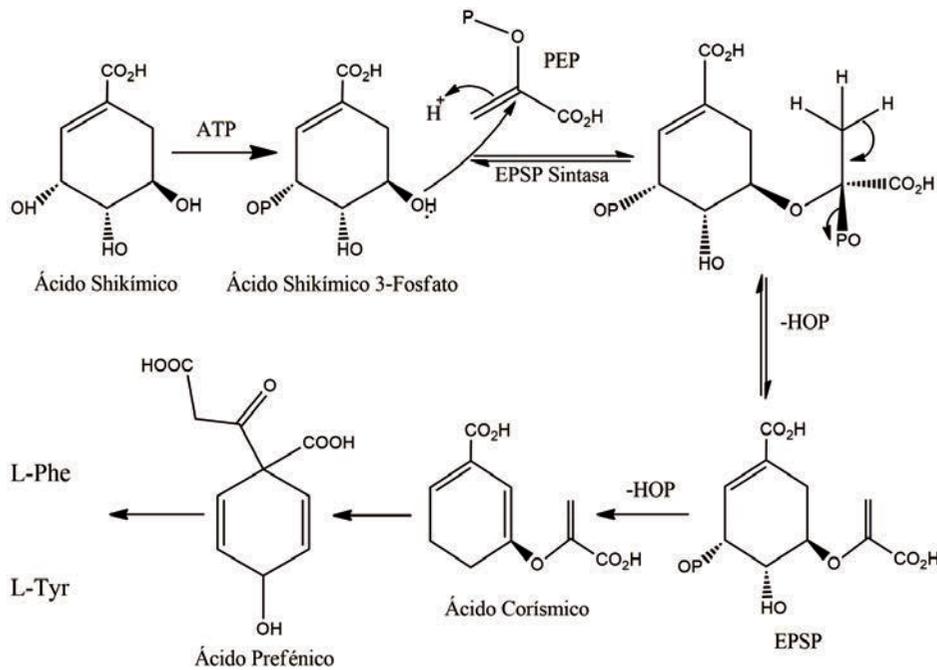


Figura 3. Formación del ácido corísmico y posterior conversión en aminoácidos aromáticos.
Fuente de: (Dewick, 2002).

En la (Ver en los anexos figura 4) se observa la continuación de la ruta de los fenilpropanoides, en donde la fenilalanina es desaminada por acción de la fenilalanina-amino liasa (PAL), formando ácido cinámico, que puede ser oxidado en presencia de NADPH, generando el ácido 4-cumárico, que también puede provenir de la L-tirosina. Este ácido 4-cumárico, puede ser oxidado a ácido cafeico, luego metilado en la posición meta produciendo ácido felúrico; en seguida se vuelve a oxidar y a metilar, dando como resultado el ácido sináptico. Todas las oxidaciones son en presencia de NADPH y las metilaciones catalizadas por la enzima adenosil metionina. Los tres ácidos pueden ser reducidos a alcohol cumarílico, coniférico y sinapílico respectivamente, catalizadas por el NADPH y la coenzima A. Estos alcoholes son los bloques de construcción de los lignanos y las ligninas (Dewick, 2002; Jovanovic, 2006).

Otro grupo de compuestos bastante importante dentro de los compuestos fenólicos son las cumarinas (Saigne *et al.*, 2006), éstas se biosintetizan a partir del ácido cinámico, que se oxida en presencia de NADPH a ácido 2 y 4-cumárico (Figura 5). Posteriormente el ácido 2-cumárico

sufre una isomerización de configuración *E* a *Z*, catalizada por la enzima ácido 2-cumárico isomerasa, pues dicha configuración es más estable. La formación de la cumarina se realiza gracias a una ciclación intramolecular, conocida como lactonización (Dewick, 2002), en donde los pares libres del oxígeno hidroxílico atacan al carbonilo deficiente en electrones del grupo ácido, ciclando la molécula y liberando agua.

Si la ruta es con el ácido 4-cumárico (Figura 5), el primer paso ya no es la isomerización, sino una hidroxilación en posición 2, para generar el ácido 2,4-dihidroxicinámico, que luego si sufre la isomerización de configuración *E* a *Z*, y la condensación intramolecular (lactonización) para generar la umbeliferona, que es hidroxilada nuevamente en posición 6 para formar la esculetina. La esculetina es eterificada en la posición 6 para dar escopoletina, y ésta por O-glicosidación originar la escopolina. Las cumarinas son compuestos que son utilizados como venenos, y aceleran la fermentación de la levadura (Valencia-Ortiz, 1995), además, en la naturaleza puede ser derivatizadas en cientos de compuestos (Herbert, 1989).

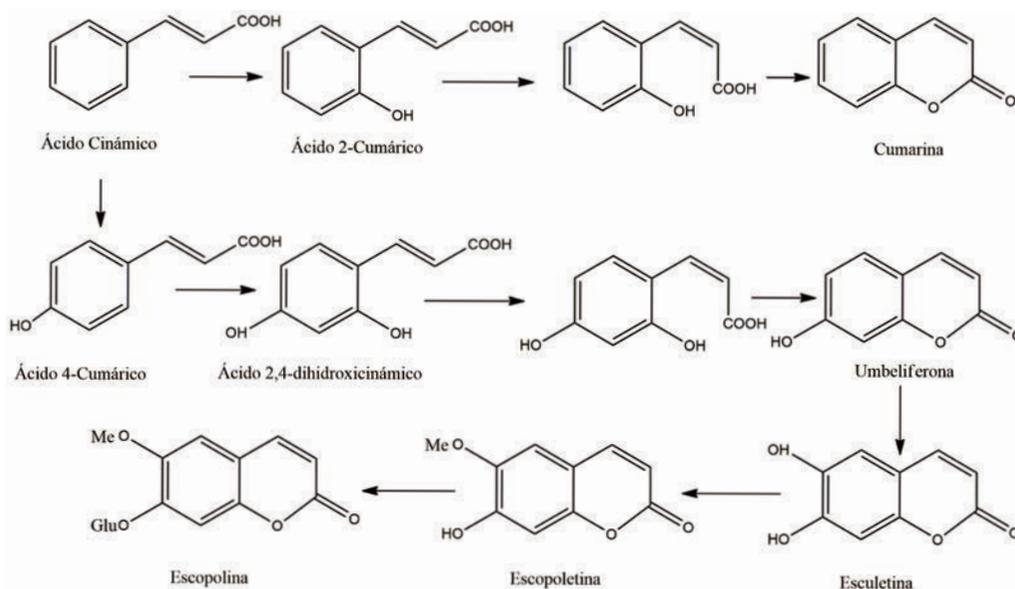


Figura 5. Biosíntesis de algunas cumarinas a partir del ácido cinámico.

Fuente de: (Dewick, 2002).

Como ya se mencionó anteriormente, los compuestos fenólicos o fenilpropanoides son un grupo muy diverso, dentro de ellos también se encuentran las chalconas, que se originan en las plantas por un acoplamiento del 4-hidroxicinamoil-CoA con 3 moléculas de malonil-CoA (figura 6), que da forma a un intermediario que puede ser, o no, reducido en presencia de una reductasa y NADPH. Estos intermediarios sufren una reacción tipo Claisen, catalizada por chalconas sintasa, formando las chalconas (Herbert, 1989). Además de la biosíntesis de chalconas, en la figura 6 también se encuentran los estilbenos y flavanonas. Los primeros se forman por una reacción tipo aldólica del intermediario formado al acoplar las 3 moléculas de malonil-CoA con 4-hidroxicinamoil-CoA, catalizada por la estilbeno sintasa; mientras que las flavanonas se sintetizan a partir de las chalconas, mediante reacciones que involucran ataques nucleofílicos de los hidroxilos al sistema α y β insaturado de las chalconas (Dewick, 2002).

Hasta acá se ha hecho referencia a la biosíntesis de compuestos fenólicos a partir de la ruta del ácido shikímico, ya que es la ruta más importante, y que conduce a la mayoría de ellos, pero también se pueden generar fenoles

simples a partir de la ruta del acetato-malonato. En la figura 7 (Anexo) se ejemplariza la biosíntesis de algunos compuestos fenólicos a partir de la ruta del acetato-malonato. El primer paso es la unión de una molécula de acetil-CoA y tres de malonil-CoA para originar un β -policetoéster, que puede seguir dos vías. En la vía A la ionización del α -metileno permite la adición (reacción aldólica) al carbonilo presente una distancia de seis carbonos a lo largo de la cadena, dando el alcohol terciario. La deshidratación se produce como en la mayoría de las reacciones químicas aldólicas, dando el alqueno, y seguido de una enolización para alcanzar la estabilidad conferida por el anillo aromático. El enlace tioéster (a la coenzima A o ACP) se hidroliza para producir ácido orsellínico (Dewick, 2002; Herbert, 1989). Si en cambio la biosíntesis sigue la ruta B, el policétido se pliega de tal manera que permite una reacción de Claisen, que, aunque de manera mecánica análoga a la reacción aldólica, se termina con la expulsión del grupo saliente tiol, y la liberación directa de la enzima. La enolización de la ciclohexatriona produce la floracetofenona (Dewick, 2002; Valencia-Ortiz, 1995). En la figura 8 se explica la biosíntesis del ácido 6-metil salicílico por la vía del malonato.

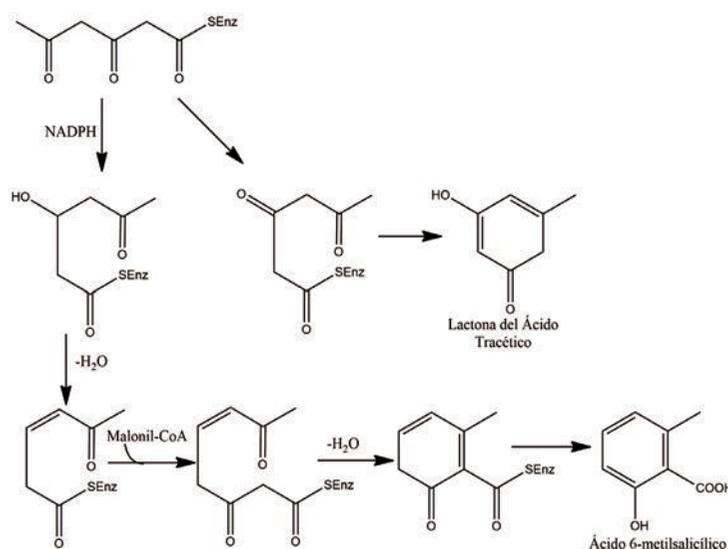


Figura 8. Biosíntesis del ácido 6-metilsalicílico.

Fuente: (Dewick, 2002)

El ácido 6-metil salicílico difiere del ácido orsellínico por la ausencia de un grupo fenol en la posición 4. También se deriva de acetil-CoA y tres moléculas de malonil-CoA, y la función oxígeno se elimina durante la biosíntesis. El ácido orsellínico no está desoxigenado en sí mismo al ácido 6-metilsalicílico. La enzima ácido 6-metilsalicílico sintasa requiere NADPH como cofactor, y elimina la función de oxígeno mediante la reducción de una cetona a un alcohol, seguido de un paso de deshidratación (Figura 8). Hay evidencia de que la reducción / deshidratación ocurre realmente en un intermedio de seis carbonos a medida que la cadena crece, antes de la extensión final de la cadena. La evidencia importante para la reducción que ocurre en la etapa C6 como se muestra en la Figura 8 proviene de la formación de lactona de ácido triacético si se omite NADPH de la incubación enzimática (Holm *et al.*, 2014).

1.2. Síntesis de algunos compuestos fenólicos

Hasta el momento se ha hecho un recuento de las rutas de biosíntesis de algunos compuestos fenólicos, pero desde hace algunos años, se han empezado a investigar en la síntesis orgánica de metabolitos de interés.

1.2.1. Síntesis de chalconas

Jeon, Yang, & Jun (2011) plantean un método para la síntesis de cumarinas a partir de cinnamatos de arilo, en medio ácido, tanto inorgánico

como de Lewis. En la figura 8 se muestra la reacción general del método de obtención de las cumarinas, en donde se utiliza $TiCl_4$ como catalizador. A partir de esta metodología se pueden obtener diversas cumarinas, dependiendo del sustituyente en posición R. En la figura 9 (Anexo) también se presenta el mecanismo de la reacción, en donde el ácido de Lewis rompe el cinamato generando un carbocatión y un compuesto formado por la unión del catalizador y el fenóxido. Dependiendo si en el método se realiza un control termodinámico o cinético se pueden obtener variantes en la estructura de la cumarina, además de presentar enolización de la estructura intermedia.

La condensación de Claisen-Schmidt es la reacción entre un aldehído aromático y una cetona. Se emplea un aldehído aromático ya que al no tener hidrógenos en posición alfa respecto al carbonilo, no puede dar lugar a la autocondensación, evitando la generación de productos no deseados. Se obtiene una cetona α,β -insaturada, la cual podría volver a reaccionar con el aldehído, por lo que en este caso la selectividad del catalizador vuelve a ser tan importante como su capacidad de conversión (Dip *et al.*, 2016). El interés de esta reacción radica en que las chalconas obtenidas (figura 10) poseen propiedades antibacterianas, antifúngicas, antitumorales y antiinflamatorias y además, son reactivos intermedios en la síntesis de flavonoides y flavonas, que también presentan actividad biológica.

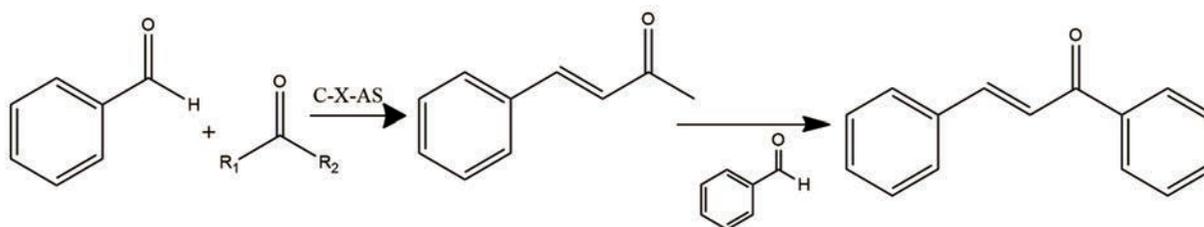


Figura 10. Síntesis de chalconas usando catalizadores carbonatados de carácter ácido.

Fuente: Dip *et al.* (2016).

1.2.2. Síntesis de arilcumarinas

Dentro de los compuestos fenólicos de interés por su actividad biológica se encuentran las arilcumarinas. A continuación, se hace presentación de las variadas posibilidades para sintetizar 4-fenilcumarinas abarcando las siguientes alternativas:

Reacción de Ponderff: partiendo de ácidos fenilpropiónicos y fenoles se logra la síntesis de 4-fenilcumarinas con diversa sustitución. Las condiciones utilizadas para ello han incluido como agentes de condensación a los ácidos trifluoroacético (Aoki, Amamoto, Oyama, & Kitamura, 2005) y polifosfórico o Montmorillonita K-10, aplicándose en este último caso calefacción por medio de microondas. Entre los catalizadores utilizados para la condensación a 4-fenilcumarinas se encuentran el cloruro de platino y el tetracloroplatinato de potasio en trifluorometansulfonato de plata, o acetato de talio (III) (Oyamada & Kitamura, 2006).

Reacción de Perkin: Esta estrategia implica partir de una *o*-hidroxibenzofenona y anhídrido acético para lograr la condensación en presencia de una base como acetato de sodio o de potasio (Garazd, Garazd, & Khilya, 2005).

Reacción de Wittig: Otra alternativa a partir

de *o*-hidroxibenzofenonas es por medio de la condensación con etoxicarboniltrifenilfosforano en benceno (Garazd *et al.*, 2005).

Reacción de Houben-Hoesch: Si se parte de benzoílacetonitrilo y un fenol en presencia de cloruro de cinc y cloruro de hidrógeno se obtiene el clorhidrato de la iminocumarina, cuya hidrólisis ácida forma la 4-fenilcumarina correspondiente (Garazd *et al.*, 2005).

4-Arilación de cumarinas: El método se basa en la arilación directa de 4-trifluorometansulfoniloxicumarinas por medio de reactivos organometálicos como ciertos estanos utilizando dioxano en presencia de tetraquis(trifenilfosfina)paladio o ioduro cuproso como catalizadores (Garazd *et al.*, 2005).

Otro método de sustitución se basa en la reacción de Suzuki partiendo de una 4-cloro o 4-bromocumarina frente al ácido fenilborónico en presencia de Pd(PPh₃)₄ y una solución acuosa de carbonato de sodio (Garazd *et al.*, 2005).

La síntesis de 4-arilcumarinas es reportada por Pérez Galera (2016), a través de una reacción de arilación tipo Heck seguida de una ciclación usando un catalizador de óxido de paladio (II) impregnado sobre magnetita y etanol como disolvente no tóxico y biorenovable (figura 11).

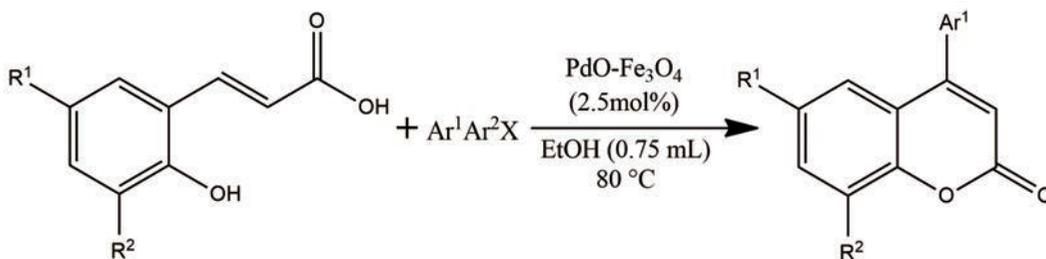


Figura 11. Síntesis de arilcumarinas con catalizadores de PdO soportados en magnetita.

Fuente: Pérez Galera (2016).

1.2.3. Síntesis de dihidrocumarinas

Se han utilizado diferentes estrategias a fin de llevar a cabo la síntesis de dihidrocumarinas, las mismas se resumen a continuación:

Reducción de cumarinas: El método más difundido a nivel industrial para la preparación de 3,4-dihidrocumarinas es mediante la hidrogenación de cumarinas (Figura 12). La reducción se puede realizar con hidrógeno en presencia de catalizadores como paladio en solución alcohólica y presencia de sulfato de bario, o empleando níquel Raney en un rango de 160-200 °C en éter de petróleo a una presión que oscila entre 100-200 atm. (Barton & Ollis, 1975).

Una reacción similar puede llevarse a cabo utilizando una fuente hidrogenante alternativa al hidrógeno, como el hidruro de aluminio y litio (Barton & Ollis, 1975); también puede

reducirse mediante formiato de amonio en presencia de un catalizador que permita la transferencia de hidrógeno como paladio soportado sobre carbón. La reacción de la 7-metoxicumarina a temperatura de reflujo de metanol en un lapso de 2 horas produce 7-metoxi-3,4-dihidrocumarina con un rendimiento del 90%. Otra forma de lograr la reducción es por medio de reactivos organometálicos como compuestos de alquilmagnesio, alquillitio, alquilaluminio y dialquilocuprato de litio (Ganguly, Dutta, & Datta, 2006).

También se ha ensayado la reducción por una vía biocatalítica, mediante el uso de cepas de *Saccharomices cerevisiae*, *Pseudomonas orientalis* y *Bacillus cereus*, trabajando entre 6 y 13 días en un medio acuso de peptona de caseína y glucosa (Häser, Wenk, & Schwab, 2006). De esta forma se evitan condiciones de reacción más costosas o contaminantes.

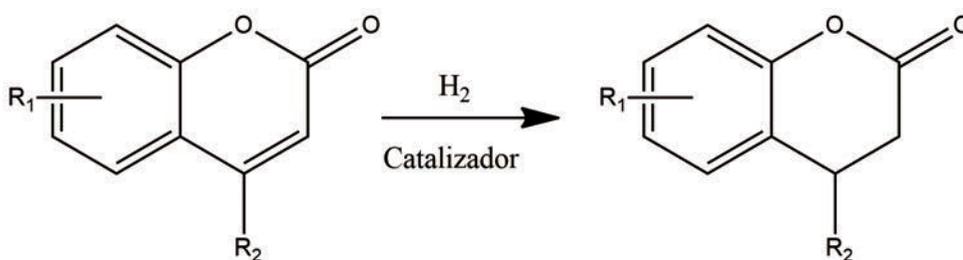


Figura 12. Síntesis de dihidrocumarinas por reducción de cumarinas.

Fuente: Barton and Ollis (1975).

Ciclación de ácidos melilóticos: La reducción de cumarinas ocurre con formación de ácido 3-(2-hidroxifenil)-propanóico (ácido melilótico) como intermediario y la posterior deshidratación del mismo (Figura 13). Esta última etapa puede realizarse sin involucrar la cumarina, partiendo directamente del ácido mencionado; se realiza a presión reducida en

presencia de un 1% en peso de ácido cítrico (Häser *et al.*, 2006). Esta misma reacción ha sido estudiada en condiciones más drásticas como por ejemplo frente a trifluoroacetato de talio (III) en ácido trifluoroacético, en presencia del eterato de trifluoruro de boro con rendimientos que oscilan entre 30-50%. La reacción se realizó -20°C en atmósfera inerte.

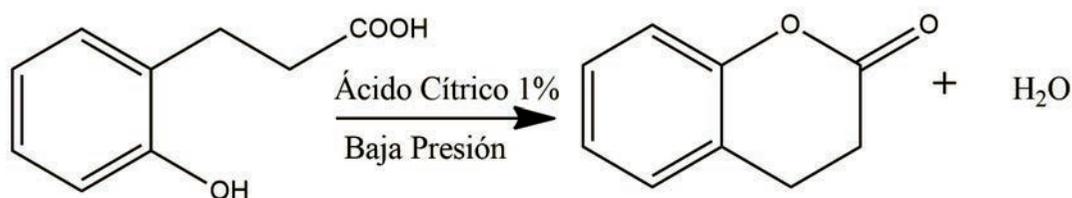


Figura 13. Síntesis de cumarinas a partir de ácidos melitólicos.

Fuente: Häser *et al.* (2006)

Reacción de Pondorff: Esta reacción es una variante de la reacción de von Pechmann en la que se parte de un ácido carboxílico α,β -insaturado frente a un fenol (Figura 14). Para que la reacción tenga lugar necesita de un catalizador (agente de condensación), para lo cual se han ensayado ácido sulfúrico, ácido polifosfórico, cloruro de hidrógeno, ácido trifluoroacético, eterato de trifluoruro de boro, resinas ácidas de intercambio iónico, y zeolitas. Esta reacción también se llevó a cabo en ausencia de solvente, bajo radiación de microondas, utilizando Montmorillonita K-10. Respecto a la catálisis de este

tipo de reacciones, se han realizado experiencias con diferentes catalizadores sólidos como resinas Nafion (pura y mezclada con silicagel), Amberlyst 15 y zeolitas comerciales. También se ha sugerido una catálisis efectiva de esta reacción mediante acetato de paladio (II) en ácido trifluoroacético, pero resultados posteriores indican que la presencia de la sal no es realmente necesaria. La misma reacción puede adaptarse para la síntesis de cumarinas, partiendo de ácidos propiólicos en lugar de sus análogos olefinicos, obteniéndose generalmente rendimientos mayores (Aoki *et al.*, 2005).

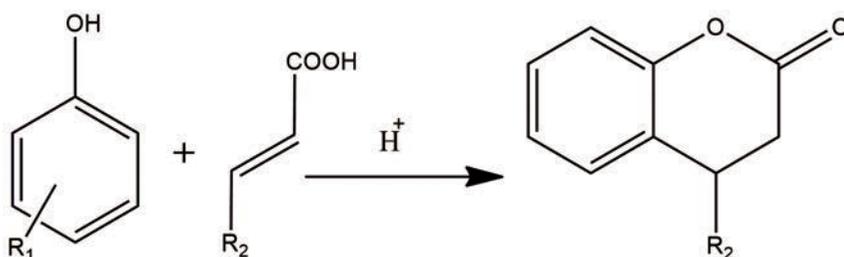


Figura 14. Síntesis de dehidrocumarinas vía reacción de Pondorff.

Fuente: Aoki *et al.* (2005).

Lactonización de acrilatos de arilo: Como la reacción de Pondorff implica la formación de los ésteres arílicos respectivos, las 3,4-dihidrocumarinas pueden sintetizarse partiendo del correspondiente acrilato de arilo mediante la lactonización del mismo en condiciones similares a las utilizadas para llevar a cabo la reacción de Pondorff (figura 15). Se han realizado ensayos que utilizan como agente de

lactonización intramolecular la mezcla cloruro de rutenio (III)-trifluorometansulfonato de plata a 80°C. También puede partirse del haluro de ácido en reemplazo del ácido acrílico, frente a los fenoles respectivos en presencia de disulfuro de carbono como solvente. Una tercera opción es partir de acrilatos de metilo sustituidos frente a un fenol y proceder según lo visto anteriormente, obteniéndose

3,4-dihidrocumarinas, con la transesterificación de los acrilatos como etapa inicial. Se reporta que la misma reacción se practicó bajo condiciones de catálisis básica, lográndose

rendimientos entre 40 % y 60%. Los autores mencionan que algún intento por realizar la reacción en presencia de cloruro de aluminio resultó infructuoso (Li, Foresee, & Tunge, 2005).

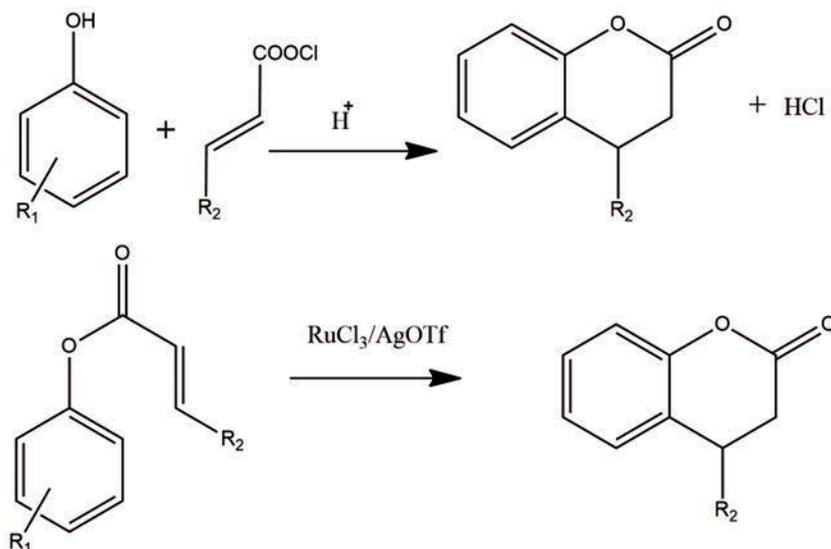


Figura 15. Representación general de procedimientos de lactonización.

Fuente: Li *et al.* (2005).

Reacción de Houben-Hoesch: Consiste en la reacción del fenol frente a nitrilos α,β -insaturados en presencia de cloruro de cinc, o cloruro de aluminio y cloruro de hidrógeno (Garazd *et al.*, 2005). La reacción se lleva a cabo entre 120°C y 145°C.

Acilación-alkilación de Friedel-Crafts:

Los fenoles pueden hacerse reaccionar frente a derivados del ácido de Meldrum (2,2-dimetil-1,3-dioxano-4,6-diona) sustituidos en la posición 5 por un grupo alquilideno, utilizando trifluorometansulfonato de iterbio como catalizador ácido de Lewis (Dumas, Seed, Zorzitto, & Fillion, 2007). Las condiciones de reacción incluyen al nitrometano como solvente, una temperatura de 100°C y un tiempo de reacción de 1,5 h, lográndose rendimientos con valores entre 70 - 91%. La

reacción procede según dos rutas posibles: a) C-alkilación/ O-acilación de Friedel-Crafts, b) C-acilación/ O-alkilación de Friedel-Crafts, dependiendo del grado de sustitución del grupo alquilideno.

Adición oxidativa: Si se parte de un anillo aromático bencénico sustituido en posición orto por un grupo metoxietileno y por un grupo 3-butenilo, puede fomentarse la ruptura oxidativa del doble enlace mediante el uso de permanganato de potasio en presencia de un éter corona; un tratamiento posterior con etrato de tribromuro de boro en diclorometano a 0°C remueve el grupo metoxilo y promueve la ciclación, formando de esta manera una 3,4-dihidrocumarina (Wilkinson, Rossington, Ducki, Leonard, & Hussain, 2006).

Recientemente, Lee & Scheidt (2015) han desarrollado una anulación formal asimétrica [4 + 2] altamente eficaz para la síntesis de dihidroumarinas a través de una catálisis de NHC activada *in situ* (figura 16). Ambas especies

electrófilas y nucleofílicas se generan *in situ* simultáneamente, por lo que los imidazoles de acilo facilitaron la formación rápida de un intermedio NHC-enolato para proporcionar los aductos de dihidroumarina [4 + 2].

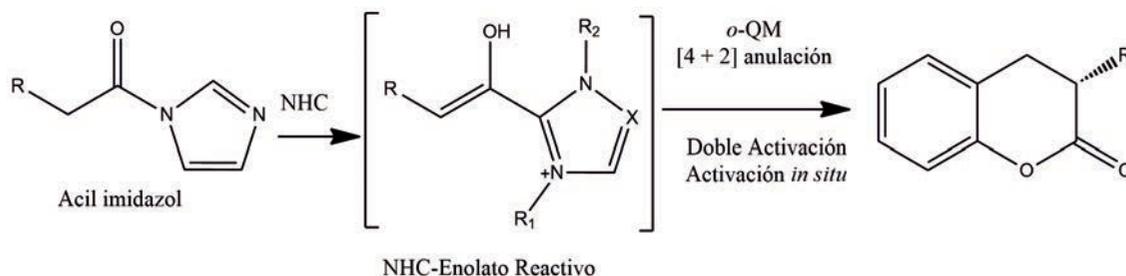


Figura 16. Estrategia de activación doble NHC.

Fuente: Lee and Scheidt (2015).

2. Identificación y cuantificación de polifenoles

Desde hace años se conoce de la presencia de muchos compuestos del grupo de los fenilpropanoides o compuestos fenólicos. Uno de los retos de los investigadores en fitoquímica ha sido lograr identificar, aislar y cuantificar dichos compuestos, por eso han hecho uso de varias técnicas analíticas que proporcionen distinta clase de información acerca de los mismos.

Para identificar polifenoles se utilizan varios métodos, como lo son resonancia magnética nuclear, de carbono e hidrógeno (¹H RMN, ¹³C RMN) (Rani & Devanand, 2013; Saigne, Richard, Mérillon, & Monti, 2006), con estas técnicas se puede conocer el tipo de carbonos e hidrógenos que posee una molécula, y por ende es muy importante para la elucidación estructural. La cromatografía de gases acoplada a detectores selectivos de masas (GC-MS) (Priyadharshini & Sujatha, 2013; Quideau, Deffieux, Douat, & Pouységu, 2011; Sagredo, Lorenzen, Casper, & Lafta, 2011) es

muy útil a la hora de identificar compuestos ya conocidos, pues se puede comparar los espectros de masas de cada compuesto con una biblioteca de productos naturales, y en dado caso que este compuesto sea nuevo, la espectrometría de masas (MS) proporciona información acerca del peso molecular, y de los patrones de fragmentación que arrojan bastante información acerca de la reactividad de estos compuestos.

La cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC), también es muy utilizada para identificar y cuantificar polifenoles. Hay reportes donde se utiliza acoplada a detectores ultravioleta visible de arreglo de diodo (HPLC-DAD) (Baño *et al.*, 2003; Barros *et al.*, 2013; Barros *et al.*, 2012; Dragovic-Uzelac, Levaj, Mrkic, Bursac, & Boras, 2007; Hale, Reddivari, Nzaramba, Bamberg, & Miller Jr, 2008; Zadra *et al.*, 2012), en donde se identifican compuestos en matrices grandes, con la ayuda de patrones, o con la comparación de los espectros UV-visible siempre y cuando se presenten multibandas de absorción, que serán características de cada

compuesto, basados en las proporciones relativas entre las mismas. La cromatografía líquida acoplada a detectores UV-visible sin arreglo de diodo (HPLC-UV) (Dragovic-Uzelac *et al.*, 2007; Kozikowski *et al.*, 2003) también se reportan para identificar algunos compuestos fenólicos comparando los tiempos de retención con los de los estándares.

Para cuantificar contenidos totales de polifenoles se utiliza el método Folin-Ciocalteu, que se basa en la reactividad de los polifenoles con el reactivo de Folin-Ciocalteu (tugstomolibdato y tugstosofato) a pH básico, permitiendo una cuantificación espectrofotométrica en 730 nm (Mennella *et al.*, 2010; Zadra *et al.*, 2012), y se toma el ácido gálico para hacer la curva de calibración. Aunque el método de Folin para la cuantificación de polifenoles totales da una idea acerca de la cantidad de ellos, en los últimos años se ha tratado de cuantificar metabolitos específicos. Es así como se han hecho cuantificaciones de ácidos cafeico, ferulico, cumárico (Barros *et al.*, 2012), clorogénico (Hale *et al.*, 2008; Muñoz Jáuregui *et al.*, 2014), rosmárico por HPLC-DAD-ESI/MS (Zadra *et al.*, 2012) y HPLC-UV (Damašius, Venskutonis, Kaškonienė, & Maruška, 2014), ácido cumárico, ferulico por HPLC-UV (Dragovic-Uzelac *et al.*, 2007; Kozikowski *et al.*, 2003) y LC-MS/MS (Bursal, Köksal, Gülçin, Bilsel, & Gören, 2013), y muchos otros polifenoles por HPLC-DAD (Moreno, Scheyer, Romano, & Vojnov, 2006).

3. Actividad biológica

Gracias al poder antioxidante que tienen los polifenoles, éstos presentan una variedad de

efectos benéficos, como lo son la capacidad antioxidante, antimicrobiana, anticáncer, antiinflamatoria, entre otras. En esta sección se hará un muy breve recuento de algunas de las muchas investigaciones que hay al respecto, centrado en los mecanismos químicos o biológicos que permiten que los polifenoles tengan dicha función.

3.1. Actividad antioxidante

La actividad antioxidante está relacionada mayoritariamente a la presencia de polifenoles o compuestos fenólicos (de Souza *et al.*, 2014; Martins, Barros, & Ferreira, 2016; Skrovankova, Sumczynski, Mlcek, Jurikova, & Sochor, 2015; Sumczynski, Kotásková, Družbíkova, & Mlček, 2016; Tsao, 2010), gracias a la capacidad que tienen dichos compuestos de atrapar, o inhibir la producción de radicales libres (Brown, 2005; Quideau *et al.*, 2011; Shahidi & Ambigaipalan, 2015). Los flavonoides actúan fundamentalmente como tampones, y capturan radicales libres para generar el radical flavínico, mucho menos reactivo, ya que en él los electrones desapareados están más deslocalizados (Figura 16). Además, flavonoles como la quercetina, y otras flavanonas pueden quelar iones metálicos de transición como el hierro o el cobre, evitando así la formación de las especies reactivas de oxígeno producidas por la reacción de Fenton (Figura 16) (Martínez-Flórez, González-Gallego, Culebras, & Tuñón, 2002; Quiñones, Miguel, & Aleixandre, 2012).

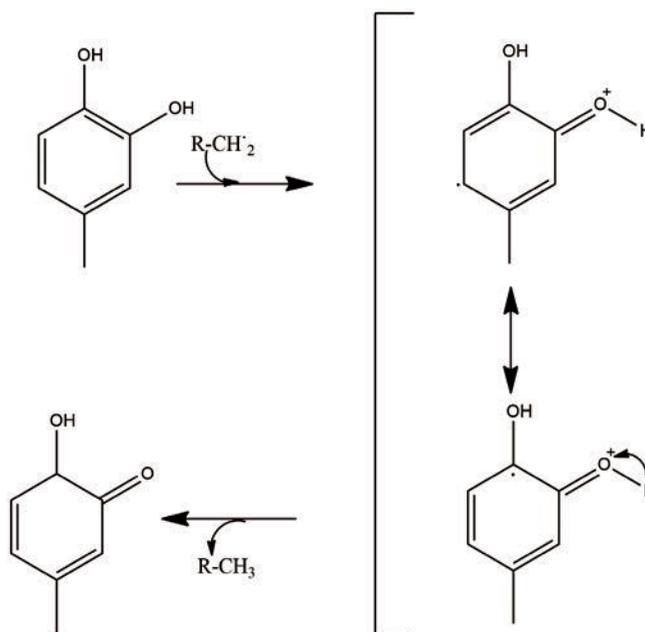


Figura 17. Mecanismo químico de la acción antioxidante de los polifenoles. Adaptado de Quiñones *et al.* (2012)

A continuación se resumen algunos estudios realizados por investigadores que probaron extractos con altos contenidos de polifenoles, y otros metabolitos secundarios, para

disminuir la formación, concentración y actividad de agentes radicalarios que pueden afectar la salud humana.

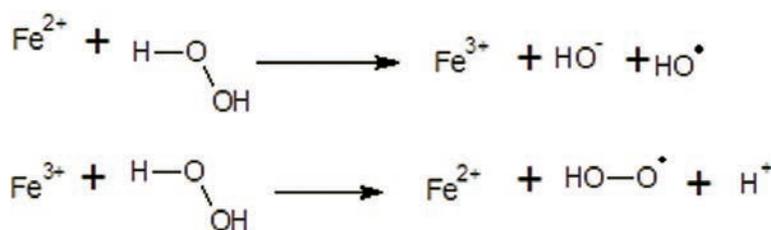


Figura 18. Mecanismo de la reacción de Fenton. Adaptado de Quiñones *et al.* (2012).

Brown (2005) reporta que variedades de papa (*Solanum tuberosum*) tiene altos contenidos de luteína, zeaxantina, violoxantinas, vitamina C, ácidos fenólicos y en menor cantidad α y β -carotenos, que son los responsables de bajar los contenidos de glucosa y colesterol, e impedir la peroxidación de los lípidos. El tomate (*S. lycopersium*) también es conocido por la presencia de compuestos fenólicos y de carotenos y licopeno, que le confieren actividad

antioxidante, encontrándose valores de 145 $\mu\text{g/ml}$ y 498 $\mu\text{g/ml}$ de DHHP (Choi *et al.*, 2011).

La planta de *S. guariticum* presenta altos contenidos de fenoles totales, flavonoides, taninos condensados y en menor cantidad alcaloides. Gracias a dicha composición Zadra *et al.* (2012) investigaron el efecto de extractos de acetato de etilo, etanol, butanol y cloroforno como antioxidantes. Encontraron que la

fracción de acetato de etilo fue más eficiente como antioxidante, con valores de concentración inhibitoria (IC_{50}) mayores en el patrón de ácido ascórbico, que con el extracto. Además, el extracto clorofórmico extrajo mayor concentración de flavonoides, taninos y alcaloides, mostrando una mayor reducción en la peroxidación de lípidos. Mennella *et al.* (2010) también reportan la acción antioxidante, y sobre la enzima polifenoloxidasas de extractos ricos en compuestos fenólicos aislados de *S. melongena*, y recomiendan la especie como potencial antioxidante.

Ricco *et al.* (2010) investigaron los contenidos de polifenoles (fenoles totales, flavonoides totales y ácidos hidroxicinámicos totales) y determinaron la capacidad antioxidante de *Aloysia gratissima* var. *gratissima* (Gill. Et Hook) Tronc., *Aloysia gratissima* var. *schulziana* (Moldenke) Botta, *Aloysia polystachya* (Griseb.) Moldenke and *Lippia integrifolia*. *L. integrifolia* fue la especie con mayor contenido de fenoles totales y *A. polystachya* la menor. En el análisis de los hidroxicinámicos, *A. polystachya* fue la que mayor concentración mostró. En cuanto a los flavonoides, *A. polystachya* fue la que mostró menor concentración en tanto que *A. gratissima* var. *schulziana* fue la más rica en estos compuestos. *A. polystachya* es la especie que presenta los menores valores de actividad antioxidante, seguida por *A. gratissima* var. *gratissima* y *A. gratissima* var. *schulziana*, mientras que *L. integrifolia* es la especie con mayor actividad antioxidante, en correlación con los valores de polifenoles totales.

Moreno *et al.* (2006) reportan el uso de extractos de *Rosmarinus officinalis* como potentes antioxidantes. Avella *et al.* (2008) cuantificaron el contenido de polifenoles totales, y la actividad antioxidante mediante DPPH en 13 malezas de la región de México, encontrando que algunas de ellas podían ser utilizados

como antioxidantes. El propóleo también es una fuente rica de polifenoles, por eso Palomino *et al.* (2009) cuantificaron los polifenoles en estas matrices y determinaron su acción antioxidante, encontrando que son antioxidantes potenciales, usando métodos ABTS, DPPH y FRAP.

Recientemente, Vega *et al.* (2017) determinaron el contenido de polifenoles totales de las muestras de cafés puros y mezclados reportando en el rango de 28.60 a 46.82 y 11.17 a 16.10 mg GAE/g, respectivamente. El contenido de flavonoides fue de 22.16 a 38.29 y 9.36 a 14.92 mg equivalentes de catequina/g, respectivamente y la actividad antioxidante estuvo en el rango de 0.11 a 0.20 y 0.025 a 0.061 mmol trolox (TE)/g, respectivamente. Estos resultados permitieron a los autores concluir que los de polifenoles totales son componentes que aportan un porcentaje importante de la capacidad antioxidante del café. En otro estudio en alimentos se evaluó la actividad antioxidante de las pulpas *Rubus glaucus* B, *Vaccinium floribundum* K y *Beta vulgaris* L; los resultados de la prueba de actividad antioxidante presentaron valores de IC_{50} mediante la técnica de DPPH en el rango de 53,33 - 141,88 $\mu\text{g/mL}$, lo cual está directamente relacionado con el contenido de fenoles (Torrenegra Alarcón *et al.*, 2016).

Los flavonoides y demás compuestos fenólicos cuando son ingeridos se metabolizan hasta ácidos fenólicos, que se clasifican en benzoicos, fenilacéticos y cinámicos, principalmente. Mediante métodos "in vitro" (ABTS y FRAP) Surco-Laos *et al.* (2016) determinaron la capacidad antioxidante de los ácidos fenólicos de interés metabólico potencial. Los valores obtenidos variaron según la reacción química implicada y la estructura de los compuestos, en la cual influye el número de radicales, su posición en el anillo bencénico con relación al

grupo carboxílico y la longitud de la cadena de este último. Compuestos como los ácidos ferúlico, elágico, galico, caféico y sináptico, y la miricetina son los responsables de la actividad antioxidante de extractos de manzana estrella morada (*Chrysophyllum cainito* L.), anacardo amarillo y anacardo rojo (*Anacardium occidentale*) (Moo-Huchin *et al.*, 2015).

3.2. Actividad antimicrobial

La actividad antibacterial y antifúngica de los polifenoles se basa en la capacidad que tienen estos compuestos para inhibir el crecimiento, reproducción, respiración, y cualquier otra función vital de los microorganismos. Esta acción la realizan mediante mecanismos como la oxidación de enzimas específicas, que van a inhibir alguna función vital, como la respiración (Martínez-Flórez *et al.*, 2002), también se reporta que estos los polifenoles se pueden unir a las cadenas de ADN interrumpiendo la reproducción o la síntesis de proteínas y elementos vitales para los microorganismos (Tomás-Barberán, 2003). Doss *et al.* (2009)

de extractos acuosos, metanólicos y acetónicos de *S. tomentosum* sobre *Bacillus cereus*, *Staphylococcus epidermidis*, *S. aureus*, *Micrococcus kristinae*, *Streptococcus pyrogens*, *Escherichia coli*, *Salmonella pooni*, *Serratia marcescens*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*. Encontraron que los extractos metanólicos y acetónicos fueron los que más inhibieron el crecimiento, con concentraciones mínimas inhibitorias del crecimiento bacterial del 5-6 mg/ml de extracto. Doss, Mubarak, and Dhanabalan (2009) probaron el efecto de taninos extraídos de hojas de *S. trilobatum* Linn sobre el desarrollo de cepas de *S. aureus*, *St. pyrogens* *Salmonella typhi*, *P. aeruginosa*, *Proteus vulgaris* y *E. coli*. Determinaron que *S. aureus* fue el más resistente a los taninos; la concentración mínima inhibitoria estuvo en

plantean que algunos polifenoles tienen la capacidad de romper las membranas celulares de algunos microorganismos, produciendo una apoptosis celular. A continuación se mencionaran algunos estudios encaminados a determinar la actividad antimicrobiana de compuestos fenólicos, o de extractos ricos en ellos.

Moreno *et al.* (2006) reportan el uso de extractos acuosos, metanólicos y etanólicos de *R. officinalis*, ricos en polifenoles para controlar el crecimiento de bacterias gram negativas (*Escherichia coli*, *Xanthomonas campestris pv campestris*, *Klebsiella pneumoniae* y *Proteus mirabilis*) bacterias grampositivas (*Staphylococcus aureus*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*, *Enterococcus faecalis*) y hongos (*Saccharomyces cerevisiae*, *Candida albicans*, *Picchia pastoris*), haciendo uso de la técnica de difusión en agar. Encontraron buenos resultados contra las tres especies de hongos y *X. campestris pv campestris*, *K. pneumoniae* y *P. mirabilis*.

Aliero & Afolayan (2006) estudiaron el efecto

un rango de 1 a 2 mg/ml y la concentración bactericida entre 1.5 y 2 mg/mL.

Taguri *et al.* (2004) investigaron el efecto antimicrobiano de compuestos como epigallocatequina, epigallocatequina-3-O-galato, punicalagina, ácido tánico, castalagina, prodelfinidina, geraniina, procianidinas, sobre serotipos de *S. aureus*, *Salmonella*, *E. coli* y varias especies de *Vibrio*. Encontraron concentraciones mínimas inhibitorias promedio de 192 ± 91 y 162 ± 165 $\mu\text{g/ml}$, para *S. aureus* y *Vibrio* respectivamente, y valores mucho más altos para *Salmonella* y *E. coli* 795 ± 590 y 1519 ± 949 $\mu\text{g/mL}$. En otro estudio, realizado por Varga *et al.* (2015) se informa del poder antimicrobiano de aceites esenciales de 4 especies de *Thymos* ricos en ácidos rosmarínico y caféico, narinena,

dehidroquercetina contra microorganismos como *P. aeruginosa*, *Cronobacter sakazakii*, *Listeria innocua*, *Streptococcus pyogenes*, *C. albicans* y *S. cerevisiae*; encontrando que los aceites de *Thymus serpyllum*, *Thymus pulegioides* y *Thymus glabrescens* fueron activos contra todos los microorganismos usados.

La actividad antibacteriana de los extractos ricos en compuestos fenólicos totales, de variedades de *Hibiscus sabdariffa* fue analizada contra microorganismos Gram-negativos (*Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis*) y Gram-positivos (*Staphylococcus aureus*, *Micrococcus luteus*), demostrando que los extractos de etanol fueron efectivos contra todas las cepas bacterianas probadas, mostrando una mayor efecto contra bacterias Gram-positivas (Borrás-Linares et al., 2015). Extractos acetónicos con gran diversidad de polifenoles en distintas especies de plantas son reportados como inhibidores de crecimiento de diferentes especies de microorganismos del género *Candida* con CMI de 0.01 a 200 mg/mL (Martins, Barros, Henriques, Silva, & Ferreira, 2015). Los derivados de quercetina, catequina y epicatequina, procianidina B2 y derivados de ácido clorogénico representan los compuestos más abundantes en todos los extractos de *Hipericum cardonae*, *Hipericum myricariifolium*, *Hipericum laricifolium*, *Hipericum humboldtianum*, *Hipericum garciae*, *Hipericum carinosum*, and *Hipericum cuatrecasii*; la actividad antifúngica se evaluó frente a un panel de aislados clínicos de hongos patógenos. Cuatro de los extractos ensayados fueron activos contra *C. albicans* (CMI₅₀ <353,25 µg / ml) y cinco contra *C. parapsilosis* (CMI₅₀ <1000 µg / ml) (Tocci et al., 2018).

3.3. Actividad anticáncer

Muchas investigaciones plantean la posibilidad de que los flavonoides tienen la capacidad de inhibir alguna función vital en las células

cancerosas. Se han identificado muchos posibles mecanismos de acción para estos flavonoides en la prevención del cáncer, que incluyen la actividad estrogénica/antiestrogénica, antiproliferativa, inducción del bloqueo del ciclo celular de las células cancerosas en una fase determinada y apoptosis, prevención de la oxidación, inducción de los enzimas de detoxificación (enzimas de Fase I y Fase II) regulación del sistema inmune y cambios en la señalización celular (Birt, Hendrich, & Wang, 2001). Se podría esperar que una combinación de estos mecanismos pueda ser la responsable del carácter preventivo del cáncer que tienen estos compuestos. Los polifenoles también pueden proteger frente al cáncer mediante su inhibición del daño oxidativo del ADN, oxidación que parece ser una importante causa de mutaciones que potencialmente podría ser reducida por los antioxidantes de la dieta. Los polifenoles, por su actividad antioxidante, que ha sido ampliamente demostrada *in vitro*, podrían prevenir esta oxidación si alcanzan aquellos tejidos donde estas oxidaciones se pueden producir (Tomás-Barberán, 2003).

Choi et al. (2011) analizaron contenidos fenólicos y la inhibición de células cancerosas de extractos de algunas variedades de tomate, y de alimentos procesados a base de tomate. Encontraron que extractos de tomate verde presentaban una mayor inhibición de células cancerígenas de pulmón, y a concentraciones más altas de extracto, inhibió también el crecimiento de células de linfoma.

En experimentos *in vitro* realizados por (Martínez-Flórez et al., 2002) se ha confirmado el papel protector de la quercetina, la cual ejerce efectos de inhibición frente a células cancerígenas en humanos: en colon, glándula mamaria y ovario, en región gastrointestinal y en la leucemia. Una posible explicación a estos efectos anticancerígenos podría derivarse del

incremento que algunos flavonoides producen en las concentraciones intracelulares de glutatión a través de la regulación de la expresión de la enzima limitante en su síntesis. Asimismo, en lo que respecta a la prevención del cáncer de mama, podría deberse a su potente capacidad de inhibir la actividad de la aromataza evitando de esta forma la conversión de andrógenos en estrógenos.

Los ácidos chebulínico y elágico mostraron un efecto inhibitorio en el crecimiento de células cancerosas del osteosarcoma humano (Saleem, Husheem, Härkönen, & Pihlaja, 2002). Además, el ácido chebulínico también participa de la comunicación disfuncional involucrada entre las células del carcinoma cervical humano (Yi *et al.*, 2006). Otros efectos del ácido chebulínico resultan ser su efecto inhibitorio sobre las células de la leucemia humana y su citotoxicidad contra células malignas como el adenocarcinoma y tumores mamarios, osteosarcoma, cáncer de próstata y adenocarcinoma de colon en humanos (Yi *et al.*, 2006). Por otra parte, la lamellarina H también muestra algún tipo de actividad antitumoral, en particular contra el cáncer de pulmón en humanos (You, Yang, Wang, & Li, 2005).

3.4. Otras actividades biológicas

También, como consecuencia de su acción antioxidante, los polifenoles poseen efectos vasodilatadores, antitrombóticos, antiinflamatorios y antiapoptóticos. Además de las propiedades vasodilatadoras que favorecen el control del tono arterial, se han descrito otras propiedades de los flavonoides que favorecen también su efecto cardioprotector. Los polifenoles poseen efectos antilipémicos y antiaterogénicos. Habría además que señalar, que algunos estudios han demostrado que estos compuestos también pueden inhibir la enzima convertidora de la angiotensina (ECA), y la inhibición de

esta enzima justificaría también sus efectos vasodilatadores y cardioprotectores (Quiñones *et al.*, 2012).

Durante los últimos 25-30 años, se han llevado a cabo diferentes estudios epidemiológicos en diferentes países en un intento de evaluar el efecto de los hábitos dietéticos en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares. Estos estudios han examinado la dieta de individuos en la década de los sesenta y han registrado la mortalidad por infarto de miocardio durante los 25 años siguientes. En uno de estos estudios, utilizando técnicas analíticas modernas, se ha evaluado el promedio de la ingesta de flavonoides y otras sustancias fenólicas en 16 grupos que participaban en el conocido como Estudio de los Siete Países. Se encontró que la ingesta de flavonoides estaba inversamente asociada a la mortalidad por infarto de miocardio (Michaël GL Hertog *et al.*, 1995). Además se llevaron a cabo varios estudios prospectivos sobre poblaciones concretas en las que se estudió el efecto de la dieta en las enfermedades coronarias y cerebrovasculares. Cuatro de ellos iban dirigidos a las enfermedades coronarias y se llevaron a cabo con poblaciones de Holanda (Michael GL Hertog, Feskens, Kromhout, Hollman, & Katan, 1993), EE.UU. (Rimm, Katan, Ascherio, Stampfer, & Willett, 1996) y Finlandia (Knekt, Jarvinen, Reunanen, & Maatela, 1996) y uno sobre enfermedades cerebrovasculares en Holanda (Keli, Hertog, Feskens, & Kromhout, 1996).

Otros estudios epidemiológicos han puesto de manifiesto una relación directa entre el consumo de té y las enfermedades cardiovasculares. En estos casos también se ha considerado que los efectos antioxidantes de los flavonoides del té, que incluyen la prevención del daño oxidativo del LDL, están entre los mecanismos potenciales que pueden estar detrás de este efecto protector (Kris-Etherton & Keen, 2002). Otros

posibles mecanismos que se han sugerido para estos efectos beneficiosos incluyen la atenuación de los procesos inflamatorios en la aterosclerosis, una reducción de la trombosis, la promoción de una función normal del endotelio, y un bloqueo de la expresión de las moléculas que controlan la adhesión celular. Los flavonoides del chocolate y del té (flavan-3-oles) también tienen un efecto antioxidante *in vitro* e *in vivo* aumentando la capacidad antioxidante del plasma y la reactividad de las plaquetas. Los datos disponibles parecen indicar que 150 mg de estos flavonoides (cantidad presente en una taza de té de 235 mL hervida durante 2 min) son suficientes para producir un rápido efecto antioxidante en el plasma y cambios en la prostaciclina *in vivo* (Langley-Evans, 2000).

Retos y tendencias

Actualmente la investigación en fitoquímica está encaminada a identificar, aislar y caracterizar compuestos sintetizados por las plantas, con lo que el estudio detallado de las rutas biosintéticas, así como el uso de procedimientos que involucren instrumentos analíticos y métodos de separación robustos, son un área prometedora, obteniendo como resultado en unos años, una explicación profunda sobre los mecanismos de acción de los polifenoles sobre distintas patologías, procesos y microorganismos. Adicional, la síntesis química está avanzando a pasos agigantados en la creación e implementación de procesos que permitan obtener a gran escala dichos compuestos, y utilizar tecnologías cada vez más limpias y con mejores resultados. Se espera que la mezcla de la fitoquímica y la síntesis orgánica permita derivatizar muchos de los compuestos de origen polifenólico, para potenciar así su actividad biológica.

Conclusiones

Hasta el momento se cuenta con bastante información acerca de las vías por las que se pueden producir metabolitos secundarios en

las plantas, aunque es necesario investigar a fondo. Estas vías involucran una serie de reacciones que son muy generales en química orgánica, y otras que más bien son específicas para la producción de ciertos metabolitos. La explicación detallada que se realizó sirve como material de partida para investigar rutas para la producción específica de metabolitos, haciendo uso de la ingeniería genética, para controlar las etapas en la biosíntesis de los polifenoles, y dirigirla hacia un compuesto (o grupo de compuestos) de interés. De hecho, si se conocen bien dichas rutas, es posible plantear métodos químicos para producir polifenoles con aplicaciones potencialmente importantes.

Literatura citada

- Aliero, A., & Afolayan, A. (2006). Antimicrobial activity of *Solanum tomentosum*. *African Journal of Biotechnology*, 5(4), 369-372.
- Almaraz, N., Ávila, J. A., Delgado, E. A., Naranjo, N., & Herrera, J. (2006). El metabolismo secundario de las plantas, un nuevo concepto.
- Aoki, S., Amamoto, C., Oyamada, J., & Kitamura, T. (2005). A convenient synthesis of dihydrocoumarins from phenols and cinnamic acid derivatives. *Tetrahedron*, 61(39), 9291-9297.
- Avalos, A., & Pérez, E. (2009). Metabolismo secundario de plantas. *REDUCA (Biología)*, 2(3).
- Avella, D. M. G., García, C. A. O., & Cisneros, A. M. (2008). *Medición de fenoles y actividad antioxidante en malezas usadas para alimentación animal*. Paper presented at the Memorias del Simposio de Metrología. Universidad Autónoma de Querétaro. Centro Nacional de Querétaro.
- Baño, M. J., Lorente, J., Castillo, J., Benavente, O., del Río, J. A., Ortuño, A., . . . Gerard, D. (2003). Phenolic Diterpenes, Flavones, and Rosmarinic Acid Distribution during the Development of Leaves, Flowers, Stems, and Roots of *Rosmarinus officinalis*. Antioxidant Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(15), 4247-4253. doi: 10.1021/jf0300745
- Barros, L., Dueñas, M., Alves, C. T., Silva, S., Henriques, M., Santos-Buelga, C., & Ferreira, I. C. (2013). Antifungal activity and detailed chemical

- characterization of *Cistus ladanifer* phenolic extracts. *Industrial Crops and Products*, *41*, 41-45.
- Barros, L., Dueñas, M., Dias, M. I., Sousa, M. J., Santos-Buelga, C., & Ferreira, I. C. (2012). Phenolic profiles of in vivo and in vitro grown *Coriandrum sativum* L. *Food Chemistry*, *132*(2), 841-848.
- Barton, D., & Ollis, W. D. (1975). *Comprehensive Organic Chemistry* (Vol. 4): Pergamon Press, Oxford.
- Birt, D. F., Hendrich, S., & Wang, W. (2001). Dietary agents in cancer prevention: flavonoids and iso-flavonoids. *Pharmacology & therapeutics*, *90*(2), 157-177.
- Borrás-Linares, I., Fernández-Arroyo, S., Arráez-Roman, D., Palmeros-Suárez, P., Del Val-Díaz, R., Andrade-González, I., . . . Segura-Carretero, A. (2015). Characterization of phenolic compounds, anthocyanidin, antioxidant and antimicrobial activity of 25 varieties of Mexican Roselle (*Hibiscus sabdariffa*). *Industrial Crops and Products*, *69*, 385-394.
- Brown, C. (2005). Antioxidants in potato. *American journal of potato research*, *82*(2), 163-172. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02853654>
- Bursal, E., Köksal, E., Gülçin, İ., Bilsel, G., & Gören, A. C. (2013). Antioxidant activity and polyphenol content of cherry stem (*Cerasus avium* L.) determined by LC-MS/MS. *Food research international*, *51*(1), 66-74.
- Croteau, R., Kutchan, T. M., & Lewis, N. G. (2000). Natural products (secondary metabolites). *Biochemistry and molecular biology of plants*, 1250-1318.
- Choi, S.-H., Kim, H.-R., Kim, H.-J., Lee, I.-S., Kozukue, N., Levin, C. E., & Friedman, M. (2011). Free Amino Acid and Phenolic Contents and Antioxidative and Cancer Cell-Inhibiting Activities of Extracts of 11 Greenhouse-Grown Tomato Varieties and 13 Tomato-Based Foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *59*(24), 12801-12814. doi: 10.1021/jf202791j
- Damašius, J., Venskutonis, P., Kaškonienė, V., & Maruška, A. (2014). Fast screening of the main phenolic acids with antioxidant properties in common spices using on-line HPLC/UV/DPPH radical scavenging assay. *Analytical Methods*, *6*(8), 2774-2779.
- de Souza, V. R., Pereira, P. A. P., da Silva, T. L. T., de Oliveira Lima, L. C., Pio, R., & Queiroz, F. (2014). Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. *Food Chemistry*, *156*, 362-368.
- Dewick, P. M. (2002). *Medicinal natural products: a biosynthetic approach*: John Wiley & Sons.
- Dip, A., Torres, E., Blanco, M., Arias, Q., Michalik, M., & Vogel, C. (2016). Síntesis de chalconas preniladas potencialmente bioactivas mediante reacciones consecutivas de reordenamiento y condensación de Claise. *Revista Cubana de Química*, *28*(3), 834-842.
- Doss, A., Mubarak, H. M., & Dhanabalan, R. (2009). Antibacterial activity of tannins from the leaves of *Solanum trilobatum* Linn. *Indian Journal of Science and Technology*, *2*(2), 41-43.
- Dragovic-Uzelac, V., Levaj, B., Mrkic, V., Burzac, D., & Boras, M. (2007). The content of polyphenols and carotenoids in three apricot cultivars depending on stage of maturity and geographical region. *Food Chemistry*, *102*(3), 966-975. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.04.001>
- Dumas, A. M., Seed, A., Zorzitto, A. K., & Fillion, E. (2007). A general and practical preparation of alkylidene Meldrum's acids. *Tetrahedron letters*, *48*(40), 7072-7074.
- Eich, E. (Producer). (2008, 2008/05/01). Solana-ceae and Convolvulaceae: Secondary Metabolites. *Reactions Weekly*. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.2165/00128415-200812020-00097>
- Ganguly, N. C., Dutta, S., & Datta, M. (2006). Mild and efficient deprotection of allyl ethers of phenols and hydroxycoumarins using a palladium on charcoal catalyst and ammonium formate. *Tetrahedron letters*, *47*(32), 5807-5810.
- Garazd, M., Garazd, Y. L., & Khilya, V. (2005). Neoflavones. 2. Methods for synthesizing and modifying 4-arylcoumarins. *Chemistry of natural compounds*, *41*(3), 245-271.
- Hale, A. L., Reddivari, L., Nzaramba, M. N., Bamberg, J. B., & Miller Jr, J. C. (2008). Interspecific variability for antioxidant activity and phenolic content among *Solanum* species. *American journal of potato research*, *85*(5), 332-341. doi: 10.1007/s12230-008-9035-1
- Häser, K., Wenk, H. H., & Schwab, W. (2006). Biocatalytic production of dihydrocoumarin from coumarin by *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of agricultural and food chemistry*, *54*(17), 6236-6240.

- Herbert, R. B. (1989). *The biosynthesis of secondary metabolites*: Springer Science & Business Media.
- Hertog, M. G., Feskens, E. J., Kromhout, D., Hollman, P., & Katan, M. (1993). Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary heart disease: the Zutphen Elderly Study. *The Lancet*, *342*(8878), 1007-1011.
- Hertog, M. G., Kromhout, D., Aravanis, C., Blackburn, H., Buzina, R., Fidanza, F., . . . Nedeljkovic, S. (1995). Flavonoid intake and long-term risk of coronary heart disease and cancer in the seven countries study. *Archives of internal medicine*, *155*(4), 381-386.
- Holm, D. K., Petersen, L. M., Klitgaard, A., Knudsen, P. B., Jarczynska, Z. D., Nielsen, K. F., . . . Mortensen, U. H. (2014). Molecular and chemical characterization of the biosynthesis of the 6-MSA-derived meroterpenoid yanuthone D in *Aspergillus niger*. *Chemistry & biology*, *21*(4), 519-529.
- Isaza, M. (2007). Taninos o polifenoles vegetales. *Scientia et Technica*, *1*(33), 13-18.
- Jeon, J.-H., Yang, D.-M., & Jun, J.-G. (2011). Selective synthesis of 3, 4-dihydrocoumarins and chalcones from substituted aryl cinnamic esters. *Bulletin of the Korean Chemical Society*, *32*(1), 65-70.
- Jovanovic, L. (2006). *New synthetic approaches to 8, 5'-neolignans*.
- Keli, S. O., Hertog, M. G., Feskens, E. J., & Kromhout, D. (1996). Dietary flavonoids, antioxidant vitamins, and incidence of stroke: the Zutphen study. *Archives of internal medicine*, *156*(6), 637-642.
- Knekt, P., Jarvinen, R., Reunanen, A., & Maatela, J. (1996). Flavonoid intake and coronary mortality in Finland: a cohort study. *Bmj*, *312*(7029), 478-481.
- Kozikowski, A., Tückmantel, W., Böttcher, G., & Romanczyk, L. (2003). Studies in Polyphenol Chemistry and Bioactivity. 4.1 Synthesis of Trimeric, Tetrameric, Pentameric, and Higher Oligomeric Epicatechin-Derived Procyanidins Having All-4 β ,8-Interflavan Connectivity and Their Inhibition of Cancer Cell Growth through Cell Cycle Arrest1. *The Journal of Organic Chemistry*, *68*(5), 1641-1658. doi: 10.1021/jo020393f
- Kris-Etherton, P. M., & Keen, C. L. (2002). Evidence that the antioxidant flavonoids in tea and cocoa are beneficial for cardiovascular health. *Current opinion in lipidology*, *13*(1), 41-49.
- Langley-Evans, S. C. (2000). Consumption of black tea elicits an increase in plasma antioxidant potential in humans. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *51*(5), 309-315.
- Lee, A., & Scheidt, K. A. (2015). N-Heterocyclic carbene-catalyzed enantioselective annulations: a dual activation strategy for a formal [4+ 2] addition for dihydrocoumarins. *Chemical Communications*, *51*(16), 3407-3410.
- Li, K., Foresee, L. N., & Tunge, J. A. (2005). Migratory decarboxylative coupling of coumarins: synthetic and... hydroarylation of benzylidene malonic esters *Journal of Organic Chemistry*, *70*, 2881-2883.
- Loyola, V. M., Sánchez, P., Canto-Canché, B., Gutiérrez-Pacheco, L. C., Galaz-Ávalos, R. M., & Moreno-Valenzuela, O. (2004). Biosíntesis de los alcaloides indólicos. Una revisión crítica. *Revista de la Sociedad de Química de México*, *48*(1), 67-94.
- Martínez-Flórez, S., González-Gallego, J., Culebras, J. M., & Tuñón, M. J. (2002). Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutr Hosp*, *17*(6), 271-278.
- Martins, N., Barros, L., & Ferreira, I. C. (2016). In vivo antioxidant activity of phenolic compounds: Facts and gaps. *Trends in Food Science & Technology*, *48*, 1-12.
- Martins, N., Barros, L., Henriques, M., Silva, S., & Ferreira, I. C. (2015). Activity of phenolic compounds from plant origin against *Candida* species. *Industrial Crops and Products*, *74*, 648-670.
- Mennella, G., Rotino, G. L., Fibiani, M., D'Alessandro, A., Francese, G., Toppino, L., . . . Lo Scalzo, R. (2010). Characterization of Health-Related Compounds in Eggplant (*Solanum melongena* L.) Lines Derived from Introgression of Allied Species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *58*(13), 7597-7603. doi: 10.1021/jf101004z
- Moo-Huchin, V. M., Moo-Huchin, M. I., Estrada-León, R. J., Cuevas-Glory, L., Estrada-Mota, I. A., Ortiz-Vázquez, E., . . . Sauri-Duch, E. (2015). Antioxidant compounds, antioxidant activity and phenolic content in peel from three tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food Chemistry*, *166*, 17-22.
- Moreno, S., Scheyer, T., Romano, C. S., & Vojnov, A. A. (2006). Antioxidant and antimicrobial activities of rosemary extracts linked to their polyphenol composition. *Free radical research*, *40*(2), 223-231.
- Muñoz Jáuregui, A. M., Alvarado-Ortíz Ureta, C.,

- Blanco Blasco, T., Castañeda Castañeda, B., Ruiz Quiroz, J., & Alvarado Yarasca, Á. (2014). Determinación de compuestos fenólicos, flavonoides totales y capacidad antioxidante en mieles peruanas de diferentes fuentes florales. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 80(4), 287-297.
- Oyamada, J., & Kitamura, T. (2006). Synthesis of coumarins by Pt-catalyzed hydroarylation of propiolic acids with phenols. *Tetrahedron*, 62(29), 6918-6925.
- Palomino, L. R., García, C. M., Gil, J. H., Rojano, B. A., & Durango, D. L. (2009). Determinación del contenido de fenoles y evaluación de la actividad antioxidante de propóleos recolectados en el departamento de Antioquia (Colombia). *Vitae*, 16(3).
- Pérez Galera, J. M. (2016). *Impregnated Cobalt, Nickel, Copper and Palladium Oxides on Magnetite: Nanocatalysts for Organic Synthesis*. PhD, Universidad de Alicante, España.
- Priyadharshini, D. S., & Sujatha, V. (2013). Antioxidant profile and GC-MS analysis of *Solanum erianthum* leaves and stem. A comparison. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 5(3), 652-658.
- Quideau, S., Deffieux, D., Douat, C., & Pouységu, L. (2011). Plant Polyphenols: Chemical Properties, Biological Activities, and Synthesis. *Angewandte Chemie International Edition*, 50(3), 586-621. doi: 10.1002/anie.201000044
- Quiñones, M., Miguel, M., & Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, 27, 76-89.
- Rani, P. U., & Devanand, P. (2013). Bioactivities of caffeic acid methyl ester (methyl-(E)-3-(3,4-dihydroxyphenyl)prop-2-enoate): a hydroxycinnamic acid derivative from *Solanum melongena* L. fruits. *Journal of Pest Science*, 1-11. doi: 10.1007/s10340-013-0516-8
- Ricco, R. A., Wagner, M. L., Portmann, E., Reides, C., Llesuy, S., Gurni, A. A., & Carballo, M. A. (2010). Análisis de polifenoles, actividad antioxidante y genotoxicidad en especies argentinas de *Lippia* y *Aloysia* (Verbenaceae). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 9(5).
- Rimm, E. B., Katan, M. B., Ascherio, A., Stampfer, M. J., & Willett, W. C. (1996). Relation between intake of flavonoids and risk for coronary heart disease in male health professionals. *Annals of Internal Medicine*, 125(5), 384-389.
- Sagredo, B., Lorenzen, J., Casper, H., & Lafta, A. (2011). Linkage analysis of a rare alkaloid present in a tetraploid potato with *Solanum chacoense* background. *Theoretical and Applied Genetics*, 122(3), 471-478. doi: 10.1007/s00122-010-1461-z
- Saigne, C., Richard, T., Mérillon, J.-M., & Monti, J.-P. (2006). ¹³C NMR analysis of polyphenol biosynthesis in grape cells: Impact of various inducing factors. *Analytica Chimica Acta*, 563(1-2), 137-144. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2005.09.073
- Saleem, A., Husheem, M., Härkönen, P., & Pihlaja, K. (2002). Inhibition of cancer cell growth by crude extract and the phenolics of *Terminalia chebula* retz. fruit. *Journal of Ethnopharmacology*, 81(3), 327-336.
- Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects—A review. *Journal of Functional Foods*, 18, 820-897.
- Skrovankova, S., Sumczynski, D., Mlcek, J., Jurikova, T., & Sochor, J. (2015). Bioactive compounds and antioxidant activity in different types of berries. *International journal of molecular sciences*, 16(10), 24673-24706.
- Sumczynski, D., Kotásková, E., Družbík, H., & Mlček, J. (2016). Determination of contents and antioxidant activity of free and bound phenolics compounds and in vitro digestibility of commercial black and red rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *Food Chemistry*, 211, 339-346.
- Surco-Laos, F., Valle Campos, M., Loyola, E., Dueñas, M., & Santos, C. (2016). Actividad antioxidante de metabolitos de flavonoides originados por la microflora del intestino humano. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 82(1), 29-37.
- Taguri, T., Tanaka, T., & Kouno, I. (2004). Antimicrobial activity of 10 different plant polyphenols against bacteria causing food-borne disease. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 27(12), 1965-1969.
- Tocci, N., Weil, T., Perenzoni, D., Narduzzi, L., Mardriñán, S., Crockett, S., . . . Mattivi, F. (2018). Phenolic profile, chemical relationship and antifungal activity of Andean *Hypericum* species. *Industrial Crops and Products*, 112, 32-37.
- Tomás-Barberán, F. (2003). Los polifenoles de los alimentos y la salud. *Alimentación Nutrición y Salud*, 10(2), 41-53.

- Torrenegra Alarcón, M. E., Villalobos Lagares, O. L., Castellar Abello, E. A., León Méndez, G., Granados Conde, C., Pajaro, N. P., . . . Soledad, I. (2016). Evaluación de la actividad antioxidante de las pulpas de *Rubus glaucus* B, *Vaccinium floribundum* K y *Beta vulgaris* L. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 21(4), 1-8.
- Tsao, R. (2010). Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. *Nutrients*, 2(12), 1231-1246.
- Valencia-Ortiz, C. (1995). *Fundamentos de fitoquímica*.
- Varga, E., Bardocz, A., Belak, A., Maraz, A., Boros, B., Felinger, A., . . . Horvath, G. (2015). Antimicrobial activity and chemical composition of thyme essential oils and the polyphenolic content of different thymus extracts. *Thymus*, 63, 3.
- Vega, A., De León, J. A., & Reyes, S. M. (2017). Determinación del Contenido de Polifenoles Totales, Flavonoides y Actividad Antioxidante de 34 Cafés Comerciales de Panamá. *Información tecnológica*, 28(4), 29-38.
- Wilkinson, J. A., Rossington, S. B., Ducki, S., Leonard, J., & Hussain, N. (2006). Asymmetric alkylation of diarylmethane derivatives. *Tetrahedron*, 62(8), 1833-1844.
- Yi, Z.-C., Liu, Y.-Z., Li, H.-X., Yin, Y., Zhuang, F.-Y., Fan, Y.-B., & Wang, Z. (2006). Tellimagrandin I enhances gap junctional communication and attenuates the tumor phenotype of human cervical carcinoma HeLa cells in vitro. *Cancer letters*, 242(1), 77-87.
- You, Y.-c., Yang, G., Wang, A.-l., & Li, D.-p. (2005). Synthesis of intermediate for lamellarin H. *Current Applied Physics*, 5(5), 535-537.
- Zadra, M., Piana, M., Brum, T. F. d., Boligon, A. A., Freitas, R. B. d., Machado, M. M., . . . Athayde, M. L. (2012). Antioxidant Activity and Phytochemical Composition of the Leaves of *Solanum guaraniticum* A. St.-Hil. *Molecules*, 17(11), 12560-12574. doi: 10.3390/molecules171112560
- Ziegler, J., & Facchini, P. J. (2008). Alkaloid biosynthesis: metabolism and trafficking. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 735-769.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

EXIGENCIAS NUTRICIONALES DE PROTEÍNA BRUTA Y ENERGÍA METABOLIZABLE PARA POLLOS DE ENGORDE

NUTRITIONAL REQUIREMENTS OF CRUDE PROTEIN AND METABOLIZABLE ENERGY FOR BROILERS

Diana M. Torres-Novoa

*Médica Veterinario Zootecnista, Magister en Ciencia Animal, Estudiante de Doctorado en Ciencias Agrarias,
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA), Universidad Nacional
Abierta y a Distancia (UNAD), Acacias, Colombia.*

milena.torres@unad.edu.co

Resumen

Esta revisión fue realizada con el objetivo de acopiar información de los recientes avances sobre las exigencias de proteína bruta y energía metabolizable para pollos de engorde. En la actualidad el concepto de exigencia de proteína bruta, está siendo sustituido por proteína ideal, especificando los niveles de aminoácidos.

Las exigencias nutricionales para pollos de engorde establecidas en los Estados Unidos, difieren a las exigencias nutricionales determinadas para pollos en condiciones tropicales. El ofrecimiento de raciones atendiendo las necesidades nutricionales para las diferentes etapas de la vida del pollo, permite alcanzar un buen desempeño zootécnico.

Palabras clave: alimentación, avicultura, ganancia de peso, nutrición, rendimiento en canal.

Abstract

This review was conducted with the objective to offer information from recent advances on the crude protein and metabolizable energy requirements for broilers. At present, the concept of crude protein requirement is being replaced by ideal protein, specifying amino acid levels.

The nutritional requirement for broilers suggested by the United States differ from the estimates nutritional requirements for broilers under tropical conditions. Food supply for attend nutritional requirements in different phases of broilers, allows to achieve a good zootechnical performance.

Key words: feed, poultry, weight gain, nutrition, channel performance

Introducción

Los desbalances nutricionales en la dieta afectan la calidad de los productos, los excesos de nutrientes aumentan la excreción de los mismos, lo cual contribuye al deterioro del ambiente, aumentando los costos de producción y reduciendo la rentabilidad de la actividad avícola (Bohórquez, 2014). Entretanto, la deficiencia de nutrientes no permite que los animales expresen todo su potencial productivo. Por lo anterior, el conocimiento de las exigencias nutricionales de las aves permitiría la utilización de materias primas que faciliten la reducción de los costos de producción sin afectar los resultados zootécnicos ni la calidad del producto. La proteína es un nutriente importante en la alimentación de aves, considerando que el propósito de la producción, es una eficiente conversión de proteína de la dieta en proteína muscular mediante la utilización óptima de energía contenida en los alimentos. Por otro lado, el exceso de proteína implica el catabolismo de los aminoácidos y la excreción como ácido úrico. De esta forma, la proteína en vez de ser utilizada para deposición en tejido es desviada para la excreción de nitrógeno (Gómez *et al.*, 2011). Borges (2013) concluye que es posible reducir las pérdidas de nitrógeno en 30 a 40% con la reducción de la proteína bruta en la dieta. La energía resulta del metabolismo de las aves y es utilizada para el mantenimiento de los procesos vitales, como respiración, mantenimiento de la temperatura corporal y flujo sanguíneo, por su parte, el desempeño de las aves tiene relación directa con el nivel de energía en la dieta (Santos *et al.*, 2012).

Para la elaboración de este documento fueron consultadas las principales bases científicas relacionadas con la nutrición de pollos, sistematizando la información de exigencias de proteína bruta (PB) y energía metabolizable (EM).

Para estimar las exigencias nutricionales se utilizan dos métodos, dosis-respuesta y factorial. El método dosis-respuesta, determina las exigencias con base en la respuesta del desempeño de los animales, alimentados con niveles crecientes del nutriente estudiado. El factorial, está basado en los principios de la determinación de la cantidad de nutriente que el animal necesita para el mantenimiento, crecimiento y producción. (Campos *et al.*, 2008)

Características del pollo de engorde

Los pollos de engorde o "broilers" comenzaron a criarse hace unos sesenta años primero en los Estados Unidos y luego en Europa. El término "broiler" es aplicado a pollos y gallinas que han sido seleccionadas especialmente para rápido crecimiento, resistente a enfermedades y buena presentación física (Valdiviezo, 2012). En las aves se habla de líneas genéticas más que de razas, debido a que estas son híbridas y el nombre corresponde al de la empresa que las produce. Según Carranza *et al.* (2009) la obtención de las líneas broiler está basada en el cruzamiento de razas diferentes, utilizando normalmente las razas White Plymouth Rock o New Hampshire en las líneas madres y la raza White Cornish en la línea paterna. La línea paterna aporta las características de conformación de un animal de carne: tórax ancho y profundo, patas separadas, buen rendimiento de canal, alta velocidad de crecimiento, entre otras (Guilcapi, 2013).

Métodos para determinar las exigencias nutricionales

En el sector avícola los gastos en la alimentación constituyen el mayor valor de los costos totales de producción. Así, los nutricionistas han enfocado las investigaciones en las exigencias nutricionales de PB y EM para la elaboración de dietas balanceadas con mayor rentabilidad sin afectar negativamente los parámetros zootécnicos ni la calidad de la carne de las aves (Arabi., 2015; Oliveira *et al.*, 2011).

Según Campos *et al.* (2008) la exigencia de un nutriente puede ser definida como la cantidad a ser proporcionada en la dieta, para atender las necesidades de mantenimiento y producción, en condiciones ambientales acorde con la buena salud del animal. Para determinar las exigencias nutricionales en pollos de engorde, pueden ser utilizados dos métodos: dosis respuesta y factorial. El método dosis-respuesta, determina las exigencias con base en la respuesta del desempeño de los animales, alimentados con niveles crecientes del nutriente estudiado. El factorial, está basado en los principios de la determinación de la cantidad de nutriente que el animal necesita para el mantenimiento, crecimiento y producción (Campos, *et al.*, 2008).

Exigencia de proteína

Las proteínas son biomoléculas formadas básicamente por carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno adicionadas en las dietas para el suministro de aminoácidos (Walsh, 2013). El exceso de este nutriente implica el catabolismo de los aminoácidos, funcionando como aporte de energía en las dietas. Esta función no es recomendable debido a su elevado costo como fuente energética. De esta manera, las dietas de pollos de engorde deben ofrecer un nivel proteico que minimice el uso de aminoácidos como fuente de energía (Bertechini, 2012).

El exceso de energía y proteína es convertido en grasa, debido a que las aves tienen gran facilidad de acumulo de grasa, por la baja capacidad de almacenar carbohidratos y proteínas y un tejido adiposo que acumula gran cantidad de grasa, así, el mecanismo genético que determina la síntesis de proteína es más complejo que el de síntesis de grasa; el exceso de nutrientes ingeridos, es utilizado en la síntesis de grasa (Brumano, 2009). Por su parte, reducir los niveles de proteína, disminuye el tejido magro y aumenta la grasa abdominal.

El alto contenido de grasa en la canal disminuye el valor comercial de los cortes y el rendimiento zootécnico, debido a las pérdidas de partes de tejido. Además, dificulta el adecuado tratamiento de los efluentes. En la práctica, cierta cantidad de grasa intramuscular es deseable para garantizar ternura y sabor a la carne de pollo (Brumano, 2009).

La edad afecta las exigencias nutricionales en las aves como lo evidencia Rostagno *et al.* (2011), los pollos de engorde necesitan 47,8 g de PB/kilogramo (kg) de peso vivo en la primera semana de edad. Entre los 43 a 46 días, esta necesidad disminuye a 11,5 g de PB. En el caso del sexo, los machos presentan mayores exigencias nutricionales en comparación con las hembras en la misma edad.

Los niveles de 170 a 230 g/kg de PB en dietas para pollos de engorde afectan negativamente el peso final, la ganancia diaria de peso (GDP), consumo de ración y conversión alimenticia (CA) (Rezaei *et al.*, 2004; Figueiredo *et al.*, 2012). A diferencia de los anteriores trabajos, el desempeño zootécnico, el peso de pechuga (Rezaei *et al.*, 2004), ganancia de peso, conversión alimenticia, peso de la canal en pollos capones con diferentes niveles de proteína a base a quinua con 2860 Kcal EM/Kg MS (Aguaiña, 2016) y pernil no son afectados por este nutriente en condiciones de termoneutralidad (Oliveira *et al.*, 2011). De igual manera, en dietas con aumento en la PB, se observó incrementos en la GDP y mejora en la CA (Gheorghie *et al.*, 2013a; Plumstead *et al.*, 2005).

Makinde & Egbekun (2016) y Mahmoud *et al.* (2017) observaron con 22% de PB, mejor ganancia de peso, conversión alimenticia, digestibilidad de proteína bruta y rendimiento de la canal; en la etapa de crecimiento Guilcapi, (2013) observó con 20% de PB, obtuvieron los mejores parámetros productivos

en cuanto a ganancia de peso y conversión alimenticia y en la etapa de engorde con 18% de PB, consiguieron los mejores promedios productivos en peso final, ganancia de peso y conversión alimenticia.

Asadi *et al.* (2017) observaron que la inclusión de gelatina tuvo efecto negativo sobre el rendimiento de crecimiento de la canal en pollos de engorde alimentados con dietas bajas en PB, los autores argumentan, que el contenido de glutamina de dietas experimentales se redujo por los aumentos en los niveles de gelatina y las disminuciones fueron más evidentes en las dietas de bajo contenido proteico. La glutamina se considera como una fuente de nitrógeno para formar otros aminoácidos y su deficiencia da lugar a efectos más adversos sobre el rendimiento de los pollos de engorde con bajos niveles de PB (Berres *et al.*, 2010).

Paraskeuas *et al.* (2016) concluyeron que al disminuir los niveles de energía y proteína afecta negativamente la conversión alimenticia, mientras que la suplementación de un aditivo alimenticio fitogénico a base de orégano, anís y aceites esenciales de cítricos compensan estos efectos.

Dietas bajas en proteína producen similares ganancias de peso y conversión alimenticia, mejorando estos parámetros con la suplementación de ácido orgánicos (Dehghani & Jahanian, 2016), las aves ajustan el consumo de alimento a las necesidades de aminoácidos no esenciales en comparación con niveles estándar de proteína (Hernández, 2005).

Yang *et al.* (2016) observaron que la proteína y la energía se pueden disminuir en 10% de 8 a 14 días de edad del ave, Sarwar *et al.* (2015) con reducción en 0,50% de PB y 50 kcal/kg EM se obtuvieron los mejores resultados productivos y de costos de producción y Basavanta *et*

al. (2016) observaron que la PB puede disminuir en 0,75 y 1,5% con formulación de aminoácidos totales y aminoácidos ileal digeribles, respectivamente.

Liboni *et al.* (2013) encontraron rendimiento en canal, pechuga y muslo de 71,69; 25,12 y 22,06% respectivamente, para pollos de engorde de 42 días alimentados con 19,14% de PB y 0,98% de lisina en la dieta. Urdaneta & Leeson (2004) encontraron en pollos de 0 a 21 días con 170 g de PB/kg de alimento y 1,22% de lisina en la dieta, disminución del 12% en el rendimiento de pechuga.

Cevallos & Intriago, (2014) recomendaron para máxima producción y mejor costo-beneficio para pollos Ross en fase inicial 20% de PB con suplementación de 0,45; 0,22 y 0,20% de lisina, metionina y treonina sintética, respectivamente. En fase de crecimiento 18% de PB con suplementación de 0,40; 0,20 y 0,25% de lisina, metionina y treonina sintética, respectivamente. En fase final 16% de PB con suplementación de 0,42; 0,20 y 0,28% de lisina, metionina y treonina sintética, respectivamente.

La reducción de PB en la dieta con la adición de aminoácidos sintéticos se obtienen resultados positivos en ganancia de peso y conversión alimenticia (Miranda *et al.*, 2015; Vasconcellos *et al.*, 2015), disminución en la excreción de nitrógeno (Awad *et al.*, 2017; Gheorghie *et al.*, 2013b) representando el 22,8% por cada unidad porcentual de PB (Gomide, 2010). Sin embargo, Caetano *et al.* (2015) recomendaron no disminuir la PB en las primeras semanas de vida.

El contenido proteico de las dietas también fue estudiado en relación a la temperatura ambiente. Altas temperaturas reducen el consumo de alimento y la tasa de crecimiento. El

ofrecimiento de dietas alta en PB para pollos sometidos a estrés por calor tiene un efecto perjudicial en la ganancia de peso, conversión alimenticia (Saki *et al.*, 2016) y composición de canal. Dietas con niveles de PB bajos para pollos en estrés por calor aumenta la deposición de grasa en los cortes (Berres, 2010). Las recomendaciones de PB y EM para estas condiciones pueden ser de 23% y 3000 kcal según Arabi (2015).

Por las investigaciones expuestas en párrafos anteriores, las exigencias nutricionales para las aves pueden ser afectadas por la edad, función fisiológica, sexo, estado sanitario, condiciones de termoneutralidad, y tipo de alimentación.

Exigencias de energía

La energía no es un nutriente, es resultado del metabolismo de los componentes químicos de los alimentos, que es utilizada para funciones de metabolismo, crecimiento, producción, movimientos musculares, mantenimiento de la temperatura corporal, respiración, funcionamiento del aparato digestivo y síntesis de compuestos y procesos bioquímicos (Murarolli, 2007).

La energía total de un alimento nunca es completamente aprovechada por las aves, pues parte de esta energía se pierde con las heces y orina (Englert, 1998). Se considera dos maneras de medir el valor energético de las raciones y de las materias primas importantes en la formulación de raciones: Energía metabolizable y energía productiva. La energía metabolizable es la energía total del alimento menos la energía de las heces y orina y, la energía productiva es la energía de una ración que es realmente transformada en carne (Murarolli, 2007). García & Quijía (2012) observaron que al disminuir 50 kcalEM/kg en la dieta no se afectó el peso corporal, consumo de alimento,

conversión alimenticia ni ganancia de peso. De igual forma, Gitoee *et al.* (2015) concluyeron que los niveles de EM pueden reducirse con la adición de enzimas sin afectar el rendimiento de los pollos de engorde.

Varios autores observaron que nivel energético de 3000 kcal/kg en dietas para pollos de engorde no causa disminución del peso corporal y la conversión alimenticia es favorecida por el aumento de la EM de la ración, como consecuencia del aumento de la ganancia de peso y la disminución del consumo de ración (Infante *et al.*, 2016; Perween *et al.*, 2016; Ferreira *et al.*, 2015).

Niveles de 3100 a 3300 kcalEM/kg no interfieren en el desempeño zootécnico y en el rendimiento de canal, pechuga, pernil, alas, pies y cabeza de pollos (*Gris Barre Cou Plume*) de 1 a 90 días de edad (Santos *et al.*, 2012). Resultados semejantes fueron obtenidos por Santos *et al.* (2014) que no observaron efecto sobre el desempeño y el rendimiento de la canal en pollos de 28 días de edad de la línea Isa Label alimentados con 2750 kcal/kg EMAn (Energía metabolizable aparente corregida) y 19,80% de PB. El contenido de grasa intramuscular es inferior en aves que recibieron la ración con menor nivel energético (Da Silva *et al.* 2015).

Por otro lado, el suministro de 3350 kcalEM/kg en la dieta de pollos de engorde proporcionó mejores resultados de desempeño y con 3200 kcalEM/kg mejoró la eficiencia en la utilización de energía para deposición de proteína y consecuentemente, mejor calidad de canal (Sakomura *et al.*, 2004). En general las raciones energéticas y con ajustes en los nutrientes promueven mejor rendimiento en la etapa de finalización (Dutra, 2016).

La energía fue estudiada en relación a la temperatura ambiente, Oliveira (2015) concluyó

que en condiciones de termoneutralidad o de estrés por calor, el aumento del nivel de EM en la ración, no influyó en el desempeño de los pollos de engorde con edad entre 21 y 42 días y proporcionó efectos distintos en las respuestas fisiológicas y en el rendimiento de la canal.

Relación energía metabolizable: proteína bruta

La relación energía metabolizable: proteína bruta es la cantidad de energía (kcal) para cada un gramo de proteína de la ración (Murarolli, 2007).

Cuando los niveles de proteína bruta son reducidos en dietas isoenergéticas, ocurre un aumento en la relación EM:PB, favoreciendo mayor deposición de grasa corporal, hecho que contrasta la actual preocupación del consumidor de reducir la cantidad de grasa en la dieta (Reginatto *et al.* 2000).

La relación energía:proteína alta (149,8; 174,4 y 194,4, para las fases inicial, crecimiento y finalización, respectivamente) en machos en los periodos de 1 a 35 días y de 1 a 48 días presentó mejor conversión alimenticia y mayor porcentaje de grasa abdominal (Murarolli, 2007). Raciones con relación EM:PB baja (130,0; 150,0 y 166,7 para las fases inicial, crecimiento y finalización, respectivamente) posibilita menor tasa de grasa abdominal, resultando en mayor cantidad de carne magra en la canal, lo que es de gran ventaja para el mercado consumidor y para el productor en relación al costo-beneficio (Murarolli, 2007). Según Mendonça *et al.* (2008) la relación calórica: proteica recomendada para machos Isa Label en la fase inicial es de 128 y Mushtaq *et al.*, (2015) deducen que el mejor rendimiento zootécnico puede obtenerse con una relación de 11,4 EM/PB y 1,05% de lisina manteniendo todos los otros AA constantes bajo condiciones subtropicales de verano.

Consideraciones finales

Las exigencias de proteína se han reportado en un rango de 18 a 23%, según la etapa de desarrollo biológico. Los de energía metabolizable entre 2950 a 3350 kcalEM/kg para obtener los mejores resultados de desempeño.

Las exigencias nutricionales descritas han sido determinadas en otros países, haciendo necesario que en Colombia se evalúen proyectos de investigación con el objetivo de estimar las exigencias nutricionales para pollos de engorde en zonas tropicales.

En la formulación de dietas prácticas se debe considerar un margen de seguridad en la atención de las exigencias nutricionales bien sea por ingredientes diferentes, línea genética, temperatura ambiente, consumo del alimento, estado sanitario, edad y sexo del ave.

Literatura citada

- Aguaguña, T. D. A. (2016). Comportamiento productivo de pollos capones pio pio con dietas isoeléctricas y diferentes niveles de proteína en base a quinua. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- Arabi, S. A. M. (2015). The Effects Of Different Protein And Energy Levels On Broilers Performance Under Hot Climatic Conditions. *International Journal of Innovative Agriculture & Biology Research*, 3(1), 19-28.
- Asadi Z. K. K., Shahir, M. & Baradaran, N. (2017). Effect of gelatin supplementation on growth performance and blood metabolites of broiler chickens fed diets varying in crude protein. *Livestock Science*, 201, 5-12.
- Awad, E. A., Zulkifli, I., Soleimani, A. F. & Aljuobori, A. (2017). Effects of feeding male and female broiler chickens on low-protein diets fortified with different dietary glycine levels under the hot and humid tropical climate. *Italian Journal Of Animal Science*, 16(3), 453-461.
- Basavanta, K. C., Gloridoss, R. G., Singh, K. C., Prabhu, T. M. & Suresh, B. N. (2016). Performance of Broiler Chickens Fed Low Protein, Limiting

- Amino Acid Supplemented Diets Formulated Either on Total or Standardized Ileal Digestible Amino Acid Basis. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29(11), 1616-1624.
- Berres, J. (2010). Estratégias para redução protéica de dietas para frangos de corte. (Teses de Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS, Brasil.
- Berres, J., Vieira, S. L., Dozier, W. A., Cortês, M. E. M., Barros, R., Nogueira, E. T. & Kutschenko, M. (2010). Broiler responses to reduced-protein diets supplemented with valine, isoleucine, glycine, and glutamic acid. *Journal Applied Poultry Research*, 19, 68-79.
- Bertechini, A. G. (2012). Niveles de proteína y aminoácidos en avicultura. Universidade Federal de Lavras, MG/Brasil. Recuperado de: http://amevea-ecuador.org/web_antigua/memorias2012/memorias/PROTEINA_AMINOACIDOS_EN_AVICULTURA_DR_BERTECHINI.pdf
- Bohórquez, A. V. D. (2014). Perspectiva de la producción avícola en Colombia. (Especialización en alta gerencia). Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.
- Borges, F. C. (2013). Redução da proteína bruta da ração de frangos de corte tipo caipira. (Dissertação). Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Diamantina-MG, Brasil.
- Brumano, G. (2009). Níveis de lisina e de metionina + cistina e proteína bruta para melhor qualidade de ovo e de carcaça de aves e suínos. *Nutritime*, 6(3), 898-917.
- Caetano, V. C., Faria, D. E., Caniatto, A. M., Faria Filho, D. E. & Nakagi, V. S. (2015). Performance and carcass yield of broilers from 1 to 46 days fed diets containing different levels of valine and reduced protein content. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia*, 67(6), 1721-1728.
- Campos, A., Salguero, S., Albino, L. & Rostagno, H. (Novembro de 2008). Aminoácidos en la nutrición de pollos de engorde: proteína ideal. *III CLANA- Congresso do Colégio Latino-Americano de Nutrição Animal*. Congreso llevado a cabo en Cancún, México.
- Carranza, C. K. M. & Díaz, O. M. (2009). Efecto de la caponización en pollos de engorde (línea hubbard) y de postura (línea Hyline Brown) en el peso y las características organolépticas de la canal. (Tesis de pregrado). Universidad del Salvador. San Salvador.
- Cevallos, V. L. E., & Intriago, Z. C. R. (2014). Utilización de aminoácidos sintéticos y diferentes niveles de proteína en la optimización de parámetros de producción de pollos Ross. (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo. Manabí, Ecuador.
- Da Silva Ferreira, G., Pinto, M. F., Neto, M. G., Ponsano, E. G., Gonçalves, C. A., Bossolani, I. C. & Pereira, A. G. (2015). Ajuste preciso do nível de energia na dieta de frangos de corte para controle do desempenho e da composição lipídica da carne. *Ciência Rural*, 45(1), 104-110.
- Dehghani, T. N. & Jahanian, R. (2016). Effect of supplemental organic acids on performance, carcass characteristics, and serum biochemical metabolites in broilers fed diets containing different crude protein levels. *Animal Feed Science and Technology*, 211, 109-116.
- Dutra, L. J. (2016). Níveis de energia e nutrientes para frangos de corte: desempenho, rendimento de carcaça e expressão gênica. (Dissertação) Universidade Federal de Sergipe, Brasil.
- Englert, S. I. (1998). *Nutrição correta-O segredo do sucesso. Avicultura, tudo sobre raças. Manejo e nutrição*. Porto Alegre, Brasil. 7. Ed.: Editora Agropecuária.
- Ferreira, S. G., Pinto, M. F., Neto, G. M., Ponsano, G. E. H., Gonçalves, C.A., Bossolani, C. I. L. & Perreia, G. A. (2015). Ajuste preciso do nível de energia na dieta de frangos de corte para controle do desempenho e da composição lipídica da carne. *Ciência Rural*, 45(1), 104-110.
- Figueiredo, V. C. H., Oliveira, F. D., Silva, S. C. G., Zacché, B. V. T., Almeida, S. M., Costa, M. A. L., Sabino, F. I. & Medeiros, V. F. (2012). Efeitos da redução da proteína dietética sobre o desempenho e as características de carcaça de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(3), 662-667.
- García, B. R. D. & Quijia, P. J. O. (2012). Parámetros productivos del pollo de engorde sometido a dos niveles de energía entre los 22 a 35 días de edad. Escuela Agrícola Panamericana. (Tesis Pregrado). Zamorano, Honduras.
- Gheorghe, A., Dragotoiu, D., Ciurescu, G., Lefter, N. & Habeanu, M. (2013a). Effects of Dietary Protein Level on Protein Deposition in Broilers: 1. Body Composition, Plasma Metabolic Profile and Litter Composition. *Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologies*, 70(2), 266-273.

- Gheorghe, A., Dragotoiu, D., Ciurescu, G., Lefter N. & Habeanu, M. (2013b). Effects of Dietary Protein Level on Protein Deposition in Broilers: 2. Body Composition, Plasma Metabolic Profile and Litter Composition. *Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologies*, 70(2), 274-283.
- Gitoe, A., Janmohammadi, H., Taghizadeh, A. & Rafat, S. A. (2015). Effects of a multi-enzyme on performance and carcass characteristics of broiler chickens fed corn-soybean meal basal diets with different metabolizable energy levels. *Journal of Applied Animal Research*, 43(3), 295-302.
- Gómez, R. S., López, C. C., Cortés, C. A. & Ávila, G. E. (2011). Evaluación de tres programas de alimentación para pollos de engorda con base en dietas sorgo-soya con distintos porcentajes de proteína. *Veterinaria México*, 42(4), 299-309.
- Gomide, E. M. (2010). Redução dos níveis de proteína bruta, calcio e fosforo em rações com fitase e aminoácidos para frangos de corte. (Tese de Doutorado). Universidade de Lavras. Minas Gerais, Brasil.
- Guilcapi, P. R. S. (2013). Utilización de aminoácidos sintéticos con reducción de proteína bruta en la alimentación de pollos parrilleros. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. (Tesis de Grado). Riobamba, Ecuador.
- Hernández, S. C. (2005). Efecto de dietas bajas en proteína y niveles de lisina sobre el desarrollo dinámico del músculo de pechuga en pollos de engorda. (Tesis de Doctorado). Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México.
- Infante, R. F., Salinas, C. J., Montaña, G. M. F., Manríquez, N. O. M., González, V. V. M., Guevara, F. O. F. & Ramírez, L. J. A. (2016). Effect of diets with different energy concentrations on growth performance, carcass characteristics and meat chemical composition of broiler chickens in dry tropics. *SpringerPlus*, 5(1), 1937.
- Liboni, B. S., Yoshida, S. H., Pacheco, F. P., Souza, L. F. A., Astolphi, J. L. & Astolphi M. Z. (2013). Diferentes programas de luz na criação de frangos de corte. *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária*, 20, 1-19.
- Mahmoud, K., Obeidat, B., Al-Sadi, M. & Hatahet, S. (2017). Effect of *Bacillus subtilis* supplementation and dietary crude protein level on growth performance and intestinal morphological changes of meat type chicken. *Livestock Science*, 195, 99-104.
- Makinde, O. A. & Egbekun, C. P. (2016). Determination of optimum dietary energy and protein levels for confined early-stage Fulani Ecotype chickens. *Livestock Research for Rural Development*, 28(9), 164.
- Mendonça, O. M., Sakomura, N. K., Santos, F. R., Freitas, R. E., Fernandes, K. B. J. & Barbosa, A. N. A. (2008). Níveis de energia metabolizável para machos de corte de crescimento lento criados em semiconfinamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(8), 1433-1440.
- Miranda, D. J. A., Vieira, S. L., Favero, A., Angel, C. R., Stefanello, C. & Nogueira, E. T. (2015). Performance and meat production of broiler chickens fed diets formulated at different crude protein levels supplemented or not with L-valine and L-isoleucine. *Animal Feed Science and Technology*, 206, 39-47.
- Murarolli, R. A. (2007). Efeitos de diferentes relações dietéticas de energia metabolizável: proteína bruta e do peso inicial de pintos sobre o desempenho e o rendimento de carcaça em frangos de corte: I machos; II fêmeas. (Dissertação). Universidade de São Paulo. Pirassununga. Brasil.
- Mushtaq, M. M. H., Ahmad, G. & Parvin, R. (2015). Influence of dietary graded levels of digestible lysine and lowering energy to protein ratio on the growth performance of broilers under subtropical summer conditions. *Revista Brasileira de Ciencia Avicola*, 17 (3), 381-386.
- Oliveira, P. W., Oliveira, M. R. F., Donzele, L. J., Albino, T. L. F., Martins, S. M. & Assis, A. P. (2011). Redução do nível de proteína bruta em rações para frangos de corte em ambiente de termoneutralidade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(8), 1725-1731.
- Oliveira, K. P. (2015). Influência de diferentes temperaturas e níveis de energia metabolizável no desempenho de frangos de corte na fase final de criação. (Dissertação). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, Brasil.
- Paraskeuas, V., Fegeros, K., Palamidi, I., Mountzouris, K. C. & Theodoropoulos, G. (2016). Phyto-genic Administration and Reduction of Dietary Energy and Protein Levels Affects Growth Performance, Nutrient Digestibility and Antioxidant Status of Broilers. *Journal of Poultry Science*, 53(4), 264-273.
- Perween, S., Kumar, K., Chandramoni, Kumar, S., Singh, P. K., Kumar, M. & Dey, A. (2016). Effect

- of feeding different dietary levels of energy and protein on growth performance and immune status of Vanaraja chicken in the tropic. *Veterinary World*, 9(8), 893-899.
- Plumstead, P., Paton, N., Romero, S. H., Leksrisonpong, N. & Brake, J. (January 2005). Effect of dietary crude protein and amino acid balance on the early body weight gain response of broilers to dietary lysine. *International Poultry Science Forum*. Georgia World Congress Center, Atlanta, Georgia.
- Reginatto, M. F., Ribeiro, A. M., Penz J. R., A. M., Kessler, A. M. & Krabbe, E. L. (2000). Suplementação de Treonina em Dietas de Frangos de Corte, Variando a Energia e as Relações Energia:Proteína. *Revista Brasileira de Ciências Avícola*, 2(3), 239-247.
- Rezaei, M., Moghaddam, H. N., Reza, J. P. & Kermanshahi, H. (2004). The effects of dietary protein and lysine levels on broiler performance, carcass characteristics and N excretion. *International Journal Poultry Science*, 3(2), 148-152.
- Rostagno, H. S., Albino, L. F. T., Donzele, J. L., Gomes, P. C., Oliveira, R. F., Lopes, D. C., Ferreira, A. S., Barreto, S. L. & Euclides, R. F. (2011). Tabelas brasileiras para aves e suínos, Composição de alimentos e exigências nutricionais. 3a Ed. Universidade Federal de Viçosa, Brasil.
- Saki, A. A., Maleckey, M., Johari, R., Goudarzi, S. M. & Abdolmaleki, M. (2016). The effects of protein, amino acid, and dietary electrolyte balance on broiler chicken performance and blood parameters under heat stress. *Acta Scientiarum - Animal Sciences*, 38(3), 285-292.
- Sakomura, N. K., Longo, F. A., Boa-Viagem, R. C., Watanabe, K., Pelícia, K. & Rodrigues, F. E. (2004). Efeito do nível de energia metabolizável da dieta no desempenho e metabolismo energético de frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33(6) (supl. 1), 1758-1767.
- Santos, F. R., Stringhini, J. H., Minafra, C. S., Almeida, R. R., Oliveira, P. R., Duarte, E. F.; Silva, R. B. & Café, M. B. (2014). Formulação de ração para frangos de corte de crescimento lento utilizando valores de energia metabolizável dos ingredientes determinada com linhagens de crescimento lento e rápido. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária y Zootecnia*, 66(6), 1839-1846.
- Santos, M. S. V., Vieira, S. S., Tavares, F. B., Andrade, P., Manno, M. C., Costa, H. S. & Moreira, A. (2012). Desempenho, carcaça e cortes de frangos caipira francês barre (*Gris Barre Cou Plume*). *Archivos de Zootecnia*, 61(234), 287-295.
- Sarwar, G. A. S., Khan, S. H., Anjum, M. A. & Na-deem, M. A. (2015). Effect of different dietary protein and energy levels on the growth performance, meat and body fat composition in broiler chicks. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 52(4), 1125-1129.
- Urdaneta, R. M. & Leeson, S. (2004). Muscle (Pectoralis Major) protein turnover in Young broiler chickens fed graded levels of lysine and crude protein. *Poultry Science*, 83, 1897-1903.
- Valdiviezo, H. M. F. (2012). Determinación y comparación de parámetros productivos en pollos broiler de las líneas Cobb 500 y Ross 308, con y sin restricción alimenticia. (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Riobamba. Ecuador.
- Vasconcellos, C. F., Fontes, D. O., Lara, L. C., Silva, M. A., Vidal, T. B., Fernandes, I. S. & Rocha, J. S. R. (2015). Evaluation of glycine plus serine levels in low crude protein diets for broiler chickens. *Arquivo Brasileiro De Medicina Veterinaria e Zootecnia*, 67(2), 499-505.
- Walsh, C. P. (2013). Protein. *Salem Press Encyclopedia Of Science*.
- Yang, H. M., Wang, W., Wang, Z. Y., Yang, Z., Huang, K. H., Lu, H., Wan, Y. & Hou, B. H. (2016). *Journal of Integrative Agriculture*, 15(8), 1825-1832.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

APROXIMACIÓN SISTÉMICA DE LA SOSTENIBILIDAD EN LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL

SYSTEMIC APPROACH TO SUSTAINABILITY IN THE BIOETHANOL PRODUCTION

Danny Ibarra Vega¹

Gerard Olivar Tost²

¹ Doctorando en Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Docente e investigador del Programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Sergio Arboleda.

² Doctor en Ciencias - Matemáticas por la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España. Profesor titular Universidad Nacional de Colombia.

¹ ingdanny09@hotmail.com

² golivar@unal.edu.co

Resumen

En este artículo se presenta la descripción del problema de sostenibilidad que enfrentan los sistemas de producción de biocombustibles, en específico la producción de bioetanol en Colombia, desde una preceptiva sistémica desarrollada por medio de diagramas causales del problema. Para comprender la sostenibilidad de la bioenergía y los biocombustibles, existe un conjunto de indicadores de sostenibilidad que pueden ser útiles para las economías que están incursionando en la bioenergía o que tienen una producción consolidada, como es el caso colombiano. De esta forma, se describen las etapas de producción en donde estos indicadores aplican para el contexto colombiano en la producción de bioetanol de caña de azúcar. Finalmente, para ilustrar como se deben interconectar los indicadores en el proceso productivo, se obtuvo un diagrama causal que

emerge de la conceptualización sistémica del problema éste permitió la captura cualitativa de los principales atributos del sistema, con sus respectivas relaciones causales y estructuras de realimentación típicos del pensamiento sistémico.

Palabras clave: biocombustibles, diagrama causal, indicadores, sostenibilidad, pensamiento sistémico.

Abstract

This paper presents a description of the sustainability problem faced by biofuel production systems, specifically the production of bioethanol in Colombia, from a systemic precept developed by causal diagrams of the problem. To understand the sustainability of bioenergy and biofuels, there is a set of 24

sustainability indicators that may be useful for economies that are entering bioenergy or have a consolidated production such as the Colombian case. In this way, the production stages are described where these indicators apply to the Colombian context of sugarcane production. Finally, to illustrate how the indicators are interconnected in the production process, a causal diagram was obtained that

emerges from the systemic conceptualization of the problem, which allowed the qualitative capture of the main attributes of the system with the respective causal relationships and typical feedback structures of the system thinking.

Keywords: biofuels, causal diagram, indicators, sustainability, system thinking.

Introducción

Los biocombustibles han sido denominados como una opción para disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, así como una alternativa de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero, fuente para la diversificación de la canasta energética, y una oportunidad para la creación de trabajo y desarrollo rural (Scarlat & Dallemand, 2011; Espinoza *et al.*, 2017). Los biocombustibles más conocidos a nivel mundial son el bioetanol y el biodiesel. El bioetanol es un tipo de biocombustible que puede ser utilizado de manera directa o como aditivo oxigenante de la gasolina (Sánchez & Cardona, 2008). Este, se obtiene a partir de materias primas ricas en azúcares fermentables como la caña de azúcar, el maíz y la remolacha azucarera. La producción de bioetanol y biodiesel se encuentra posicionada en Colombia y se producen a escala industrial desde el año 2005. Sin embargo, hay algunas preocupaciones sobre los posibles impactos directos e indirectos con respecto al cambio climático, la seguridad alimentaria, afectaciones ambientales y el desarrollo económico que aún son discutidas en distintos contextos (Valencia & Cardona 2014; Esteves, 2013).

En este artículo, se aborda de manera general la descripción de la sostenibilidad de la producción de biocombustibles, desde una perspectiva sistémica, por medio de la vinculación

indicadores de sostenibilidad de la Global Bioenergy Partnership (GBEP, 2011), (En Inglés) a la cadena de suministro de bioetanol de caña de azúcar. Para esto, se partió de la construcción un diagrama causal que representa una cadena productiva de bioetanol de caña de azúcar en Colombia, posteriormente se vincularon los indicadores al diagrama causal y se describe la forma en que deberían integrarse y evaluarse estos indicadores.

Metodología

Para el desarrollo de este artículo se recopiló la información relacionada sobre la producción de biocombustibles, específicamente bioetanol de caña de azúcar en el contexto colombiano. A partir de allí, se construyó una cadena de suministro teórica que se aproxima a la realidad, esta construcción se realizó con los fundamentos conceptuales de la metodología Dinámica de Sistemas, la cual permite construir modelos mentales donde se concibe cualquier aspecto del mundo como la interacción causal entre atributos que lo describen (Ibarra & Redondo, 2015). Así, se construyó la representación sistémica con flechas y variables, denominada 'diagrama causal'. Una vez obtenido el diagrama causal de la cadena de suministro, se identificaron de manera cualitativa los indicadores de sostenibilidad, para este trabajo se muestran seis indicadores

seleccionados de un estudio previo (Ibarra, 2017) que aplican para una cadena de producción de bioetanol de caña en Colombia. Posteriormente se construyó un primer diagrama causal de sostenibilidad donde muestra como ejemplo la forma en que se relacionan los indicadores de sostenibilidad con una cadena productiva de bioetanol.

Contextualización biocombustibles

Colombia posee las características geográficas y climáticas necesarias para la producción de biocombustibles, las vastas extensiones de tierra disponibles para cultivar materias primas, la mano de obra a precios razonables y las condiciones agroclimáticas adecuadas para

el desarrollo de una amplia variedad de cultivos utilizados como materias primas hacen que Colombia se convierta en uno de los países con potencial para la producción de biocombustibles (Flórez, 2011).

El bioetanol en Colombia se produce a partir de caña de azúcar, debido a que la producción de caña de azúcar se encuentra consolidada desde hace años en el país, este tipo de industria pasó de ser solo azucarera para convertirse en clústers de alcoquímica. La caña de azúcar presenta mayor eficiencia energética (8,3 KJ) frente a otras materias primas a partir de las cuales se produce etanol, como lo muestra la (Figura 1).

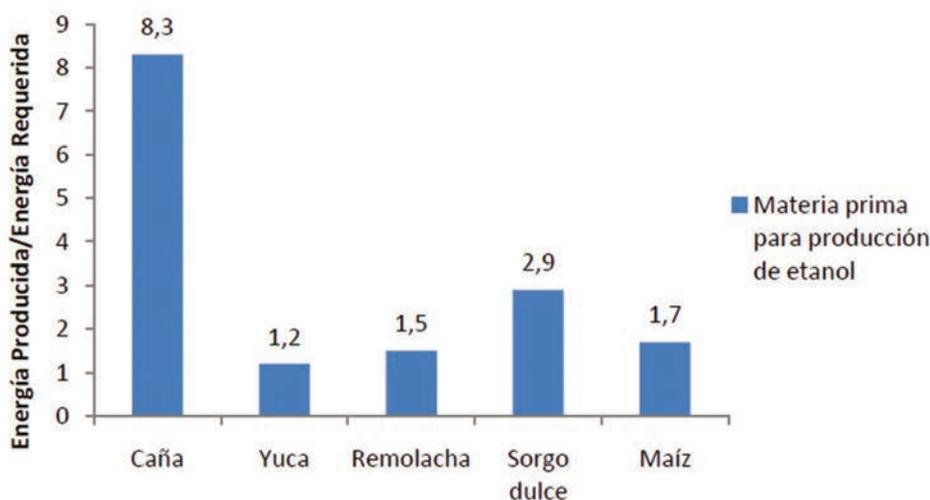


Figura 1. Eficiencia energética Materias primas.

Fuente: MME con base en Goldman Sachs y LMC en el documento Conpes 3510

De acuerdo con Fedesarrollo (2012) y Fedebiocombustibles (2016) la producción de etanol en Colombia se lleva a cabo principalmente en el Valle del río Cauca, principalmente en los departamentos Cauca, Valle del Cauca, Risaralda y Caldas, abarcando 47 municipios. En esta región hay 230.311 hectáreas sembradas en caña para azúcar, de las cuales el 24% corresponde a tierras propias de los ingenios y

76% el restante a más de 2.000 cultivadores de caña. Dichos cultivadores abastecen a los 13 ingenios de la región (La Cabaña, Carmelita, Manuelita, María Luisa, Mayagüez, Pichichí, Risaralda, San Carlos, Tumaco, Riopaila-Castilla, Incauca y Providencia). La producción de bioetanol en Colombia pasó de ser 25 millones de litros en 2005 a 456 millones de litros en 2015, como lo muestra la (Figura 2).



Figura 2. Producción de alcohol carburante.

Modificado de: (Asocaña – Balance azucarero 2012 y 2016)

La producción de Bioetanol de Caña

El bioetanol (C_2H_5OH) de primera generación se produce de manera tradicional por un proceso que consiste de tres etapas principalmente:

Fermentación, Destilación, y Deshidratación. Teniendo en cuenta las diferentes materias primas que se puedan emplear como lo muestra la (Tabla 1).

Tabla 1. Fuentes y cultivos para bioetanol.

| Fuente de Carbono | Cultivo agrícola | Rendimiento (Litros/Tonelada de cosechado) | Rendimiento (Litros/Hectárea) | Costo de Producción (USD/Litro) | País |
|-------------------|------------------|--|-------------------------------|---------------------------------|----------------|
| Sacarosa | Remolacha (Jugo) | 100 | 7000 | 0,48 | Unión Europea |
| | Caña (Jugo) | 70-85 | 6000 | 0,21 | Brasil |
| | Caña (Melaza) | 10 | 590 | 0,32 | India |
| | | 10 | 730 | 0,23-0,37 | México |
| | Sorgo | 56-90 | 2500-4000 | | Suecia |
| Almidón | Maíz | 400 | 3000 | 0,29-0,37 | Estados Unidos |
| | Trigo | 340 | 2700 | 0,62 | Unión Europea |
| | Maíz/Trigo paja | 285 Litros/ton paja | | 0,59 | Estados Unidos |
| Celulosa | Bagazo de caña | 55 | 3850 | 0,8 | Chile |

Fuente: (Chauvet y González, 2008).

La etapa de fermentación consiste en convertir los azúcares presentes en la materia prima (en este caso caña de azúcar) que vienen de la fábrica, en etanol y gas carbónico, por medio de la acción de levaduras, que realizan esta transformación gracias a su metabolismo natural.

La fermentación se desarrolla por medio de un proceso continuo en reactores donde se llevan a cabo las reacciones químicas de transformación de azúcar en etanol y gas carbónico. A la salida de estos reactores, se obtiene un producto conocido como mosto o vino fermentado que contiene una concentración de alcohol. Además, contiene agua, sólidos y levadura. El mosto o vino fermentado se envía a la siguiente etapa que es la destilación, para continuar de esta manera con la separación del etanol producido (Chauvet & González, 2008).

En la destilación se purifica el mosto fermentado para obtener alcohol con una mayor pureza que podría llegar a ser del 96% (v/v). La destilación es un proceso de separación por diferencias en los puntos de ebullición de los componentes de una mezcla, que al ser sometidos al calor, los compuestos más volátiles como el alcohol se evaporan y se concentran en fase de vapor (CUE, 2012).

El mosto fermentado que proviene de la sección de fermentación contiene 9% de alcohol, además de agua, gases, sólidos disueltos y otros compuestos que deben retirarse. Para ello, se envía a una columna mostera donde se obtienen dos productos: por la parte superior se obtienen gases con una concentración de alcohol entre el 40-50% v/v que se envían a la segunda columna llamada rectificadora. Por la parte inferior se obtiene una corriente líquida llamada vinaza (CUE, 2012).

Posteriormente viene el proceso de deshidratación, donde el alcohol purificado en la

destilación contiene entre un 96% v/v de etanol y 4% v/v de agua. Para que este alcohol pueda ser usado como combustible, es necesario retirarle más agua. La deshidratación tiene lugar en los tamices moleculares, que por medio de una resina sintética retiene el agua contenida en el alcohol rectificado, para obtener como producto alcohol deshidratado con una concentración mínima de 99.5 % de etanol, cumpliendo con las especificaciones para su uso como alcohol carburante. El alcohol deshidratado o alcohol anhidro se condensa y enfría para ser almacenado (Sánchez, 2008; Valencia 2013).

Uso y mezcla del Bioetanol en Colombia

Las políticas del gobierno colombiano apuntan a que la producción de bioetanol sigan en crecimiento, teniendo en cuenta el alto potencial que tiene el país para esto. De acuerdo con el Decreto 1135 de 2009, del Ministerio de Minas y Energía, a partir del 1o de enero del año 2012 los vehículos automotores hasta 2000 cm³ de cilindrada que se fabriquen, ensamblen, importen, distribuyan y comercialicen en el país y que requieran para su funcionamiento gasolinas, deberán estar acondicionados para que sus motores funcionen con sistema Flex-fuel (E85), es decir, que puedan funcionar normalmente utilizando indistintamente gasolinas básicas o mezclas compuestas por gasolina básica de origen fósil con al menos 85% de alcohol carburante. Sin embargo desde el año 2005 la gasolina que se usa en las principales ciudades del país comenzó a denominarse B10, esto quiere decir un combustible con 10 % de Bioetanol y 90 % de Gasolina, pese a este mandato del gobierno, hubo la necesidad de reducir el porcentaje a B8 ya que la producción no alcanza para el suministro nacional (Ver Figura 3). Actualmente todos los departamentos del país cuentan con combustible B8, a excepción del Departamento de la Guajira, Norte de Santander y Arauca, quienes cuentan con combustible importado de Venezuela.

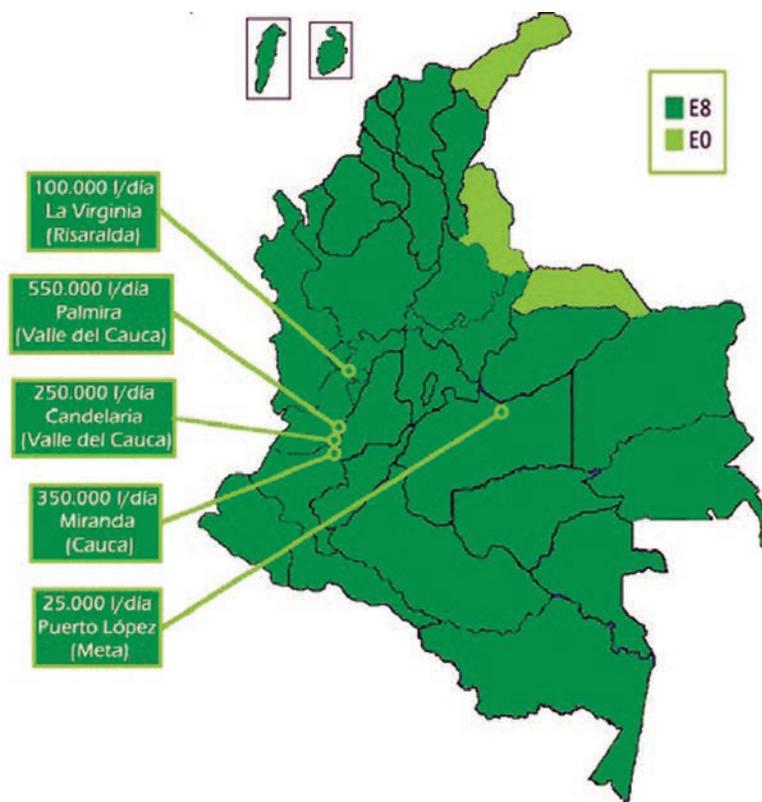


Figura 3. Porcentaje de mezcla de bioetanol en Colombia.

Fuente: FedeBiocombustibles, 2016.

En Colombia, en el año 2015, se produjeron 2,35 millones de toneladas de azúcar a partir de 24,2 millones de toneladas de caña. De alcohol carburante se produjeron 456 millones de litros, destinados a la mezcla con gasolina en una proporción E8 (8% etanol, 92% gasolina), de acuerdo con el mandato de oxigenación establecido por el gobierno (Asocaña, 2012). De esta manera se refleja el aumento en la producción de litros/año y la capacidad instalada del país para su producción.

Actualmente en Colombia la producción de Bioetanol proviene de la caña de azúcar y debido a la inversión en este sector, la capacidad instalada de producción es de 1'650.000 litros/día (FedeBiocombustibles, 2016). Se espera que en el 2018 esta capacidad llegue a los 2 millones de litros/día.

En esta misma dirección, se encuentran las políticas del gobierno Colombiano, pues han sido

orientadas a que la producción de bioetanol siga en crecimiento, teniendo en cuenta el alto potencial y las vastas extensiones de terreno inexplorado que tiene el país para esto. Cabe resaltar que la apuesta del gobierno es incrementar su producción en el corto y mediano plazo, teniendo en cuenta lineamientos de sostenibilidad que se establecieron en el CONPES 3510 (2008), el cual busca que el país logre una producción eficiente y sostenible, entendiéndose sostenible como un equilibrio entre la dimensión económica, social y ambiental.

Dado lo anterior, es necesario desarrollar herramientas y metodologías que permitan la comprensión de la situación, así como una evaluación que permitan vincular los aspectos e impactos ambientales relacionados con el proceso productivo del bioetanol a lo largo de la cadena de suministro. Es decir, una evaluación sistémica de la sostenibilidad.

Para esto la FAO a través de la asociación mundial de bioenergía, (GBEP) desarrolló un conjunto 24 indicadores de sostenibilidad, propuestos para la producción de bioenergía, estos basados en los tres pilares del desarrollo sostenible, el pilar ambiental, económico y social. Estos indicadores fueron desarrollados para proporcionar a los formuladores de políticas del sector de bioenergía y a otras partes interesadas, un conjunto de herramientas analíticas que pueden informar sobre el desarrollo de políticas y programas nacionales de bioenergía y así monitorear el impacto de las mismas (GBEP, 2011). Sin embargo, en países en vía de desarrollo como Colombia, aún no es claro cómo se podrían implementar los indicadores de sostenibilidad propuestos, ni cómo se podría evaluar prospectivamente y sistémicamente estos indicadores.

Indicadores de sostenibilidad de biocombustibles

La Asociación Mundial de Bioenergía (GBEP) ha desarrollado un conjunto veinticuatro indicadores para la evaluación y monitoreo de la sostenibilidad de la bioenergía a niveles nacionales. Los indicadores GBEP pretenden informar a los responsables de formular políticas en los países, sobre los aspectos ambientales, sociales y económicos del sector de la bioenergía en sus países, así como guiarlos hacia políticas que fomenten el desarrollo sostenible. Estos indicadores están basados en los tres pilares de la sostenibilidad; sostenibilidad económica, social y ambiental. Los indicadores del GBEP se enfocan en un nivel nacional y/o regional del mercado, así como en todo el ciclo de vida del biocombustible (Hayashi, Ireland y Zhu, 2014).

Tabla 2. Indicadores de Sostenibilidad del GBEP

| Indicadores Ambientales | Indicadores Sociales | Indicadores Económicos |
|--|--|--|
| 1. Ciclo de vida de los Gases de Efecto Invernadero | 9. Asignación y tenencia de la tierra para nueva producción de bioenergía | 17. Productividad |
| 2. Calidad del suelo | 10. Precio y oferta de una canasta alimentaria nacional | 18. Balance neto de bioenergía |
| 3. Niveles de cosecha de recursos madereros | 11. Cambio en ingresos | 19. Valor añadido bruto |
| 4. Emisiones de contaminantes del aire que no son GEI (Contaminantes criterio) | 12. Empleos en el sector de la bioenergía | 20. Cambio en el consumo de combustibles fósiles y en el uso tradicional de la biomasa |
| 5. Uso y eficiencia del agua | 13. Cambio en tiempo no pagado invertido por mujeres y niños en la recolección de biomasa | 21. Formación y recualificación de los trabajadores |
| 6. Calidad del agua | 14. Bioenergía usada para ampliar el acceso a servicios modernos de energía | 22. Diversidad energética |
| 7. Diversidad biológica en el paisaje natural | 15. Cambio en la mortalidad y tasas de enfermedades atribuibles a humos en espacios cerrados | 23. Infraestructura y logística para la distribución de bioenergía |
| 8. Uso de la tierra y cambio de uso de la tierra relacionados con la producción de materia prima para bioenergía | 16. Incidencia de lesiones, enfermedades y muertes laborales | 24. Capacidad y flexibilidad del uso de la bioenergía |

Fuente: (GBEP, 2011).

Resultados

Comprensión sistémica

Dada la relación que existe entre los indicadores de sostenibilidad y una cadena de suministro de etanol en Colombia, se hace entonces necesario incluir una visión sistémica de gestión para poder evaluar la estructura de la cadena de suministro y su relación con los indicadores. Para esto se parte de la teoría de dinámica de sistemas la cual es una metodología para el análisis y resolución de problemas, desarrollada por Jay Forrester y presentada en sus obras (Forrester, 1999a; 1999b). En la cual se construye una hipótesis dinámica que permite la construcción de representaciones sistémicas con flechas y atributos, denominadas diagramas causales, que capturan todas las hipótesis propuestas desde las que se puede aprender del sistema para intervenir sobre él en el ejercicio de decisión (Ibarra & Redondo, 2015). Dado esto se construyó el diagrama causal, el cual muestra las interrelaciones entre los atributos principales que representan la producción de bioetanol y sus posibles afectaciones ambientales y sociales. Para este trabajo, se muestra un ejemplo de diagrama causal.

Diagrama causal del problema

A continuación se presentan y definen los principales atributos que fueron identificados para obtener y delimitar el sistema a estudiar, los cuales describen las partes que componen la cadena de suministro de bioetanol.

- Hectáreas de Caña: Es la cantidad de hectáreas de caña sembradas para la producción de bioetanol.
- Incremento Neto: Tasa de incremento hectáreas la caña para la producción.
- Cosechado: Cantidad de Hectáreas que se cosechan y se destinan para la producción de bioetanol.
- Alistamiento de la caña de azúcar: Proceso de limpieza y molienda de la caña cosechada
- Capacidad Instalada: Potencial de producción o volumen máximo de producción bioetanol que tiene el país.
- Jugo de caña: Cantidad de jugo de caña destinado a la fermentación.
- Producción de Bioetanol: Proceso productivo en función de tasa de producción del jugo fermentable y la capacidad instalada
- Bioetanol producido: Acumulación el litros de bioetanol producidos.
- Distribución: Cantidad de bioetanol destinado a la mezcla con gasolina.
- Productividad: Indicador económico que muestra la cantidad de volumen producido por hectárea de caña.

A partir de la identificación de los atributos del sistema, se procede a la construcción del diagrama causal básico de una cadena de suministro genérica, como se presenta a continuación:

Las anteriores hipótesis son representadas como relaciones causales, conformando un diagrama causal (Figura 4).

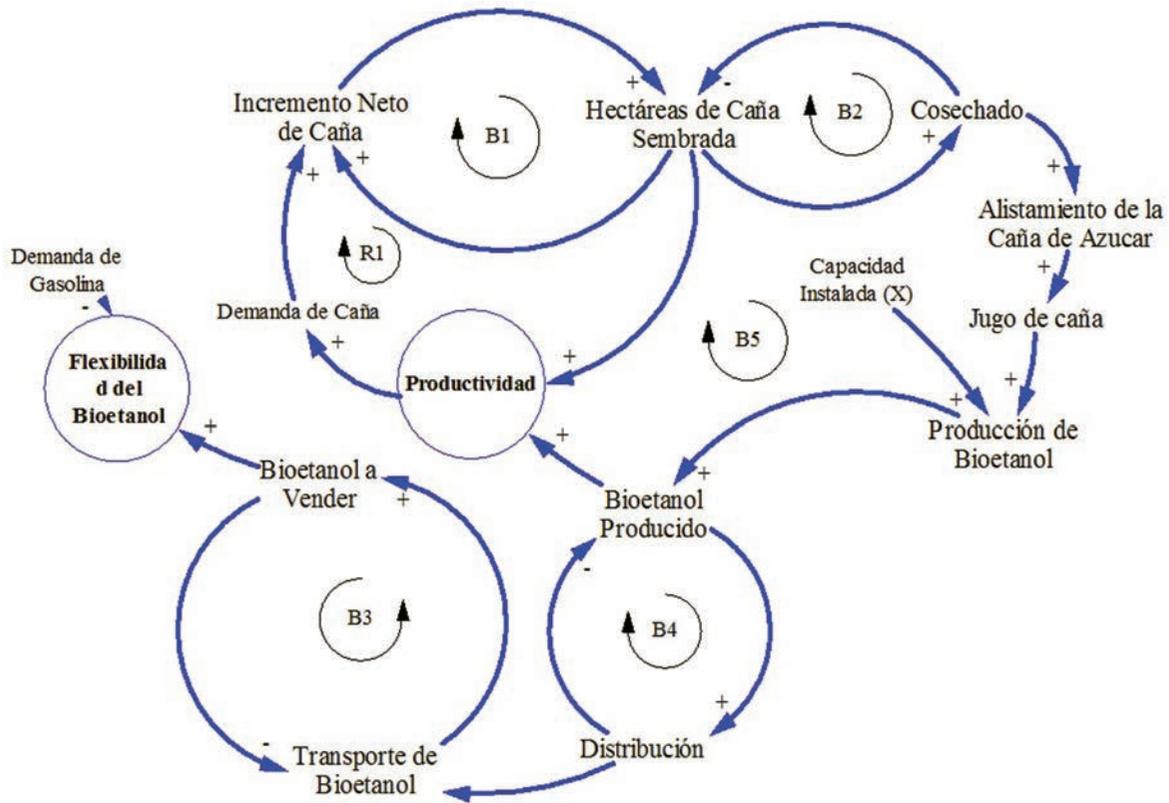


Figura 4. Diagrama causal de la producción de Bioetanol y su relación con los indicadores GBEP.

Fuente: Los autores.

Se recuerda que para la lectura del diagrama causal se entiende que si el atributo *x* aumenta, entonces causa que el atributo *y* aumente o disminuya, (dependiendo de la polaridad de la relación causal).

Se tienen entonces 6 estructuras o bucles de realimentación, el bucle B1 y B2 son la parte de la dinámica propia del cultivo de caña de azúcar, es decir, del incremento de área de cultivo y cosechado de cultivo respectivamente. El R1 se conforma por la productividad que está en función de la relación entre la cantidad de bioetanol que se produzca y la cantidad hectáreas de caña sembradas. Esta al ser positiva se traduce en un aumento de la demanda de caña. Por su parte el B5 representa el lado de la cadena que muestra la producción de bioetanol de caña, pues su obtención depende la cantidad de caña cosechada que aumenta la cantidad de la fase

de alistamiento de caña, a partir de la cual se obtiene el jugo de caña, que es llevado a producción de bioetanol. Esta producción de bioetanol, naturalmente aumenta el inventario o cantidad de bioetanol producido, el cual influye sobre la productividad. El B3 y B4 representan una acumulación y des-acumulación del bioetanol producido, por la dinámica del mercado que incluye el transporte del producto y su venta o fase final que sería la mezcla con la gasolina para disposición de los consumidores.

Una vez construido el diagrama causal que representa la cadena de suministro a estudiar, se procede entonces a vincular los atributos de los indicadores de sostenibilidad.

A continuación se presenta el diagrama causal (Figura 5) (Anexo), como marco referencial para la evaluación de indicadores de

sostenibilidad. Este, describe la vinculación de 6 indicadores de sostenibilidad en la cadena de suministro, estos indicadores pertenecientes a los tres pilares de sostenibilidad presentados en la Tabla 2. Estos indicadores son: Consumo de agua, calidad de agua (DBO descargado), número de empleos generados, afectaciones y/o muertes por enfermedades respiratorias, productividad y flexibilidad.

Discusión

Teniendo en cuenta que el direccionamiento del gobierno nacional es seguir aumentando esta capacidad de producción, es necesario tener en cuenta resaltar que el crecimiento de este tipo de industria en el país ha tenido impactos tanto positivos como negativos en el ámbito económico, ambiental y social dado que estos sistemas de producción son bastante complejos y tienen un gran número de factores que influyen en la sostenibilidad de su producción (Janssen & Rutz, 2011). Estos impactos generados en la producción de bioetanol, están asociados a distintas etapas de la cadena de suministro de bioetanol y el uso de la comprensión sistémica por medio de diagramas causales permite ver las interrelaciones que tienen las etapas de la cadena de suministro con las posibles afectaciones ambientales y sociales, que bajo una visión lineal no podrían ser observados tan fácilmente.

Colombia actualmente tiene una capacidad instalada de 1.650.000 Litros/día centralizado en los departamentos de Cauca, Valle del Cauca y Risaralda. Sin embargo la producción real se estima en un 85% de esta capacidad, a esto se le suma el incremento de la demanda de gasolina nacional ya sea por el cierre fronterizo o por incremento del parque automotor, lo cual hace obligatorio para la satisfacción de la demanda interna en algunos casos, la importación de un porcentaje de etanol que permita cubrir esta diferencia

de la demanda con la producción. Esto evidencia la necesidad que tiene el país para seguir incrementando la capacidad instalada de producción de bioetanol, este incremento debe realizarse bajo una perspectiva sistémica sostenible.

Conclusiones

En este trabajo, se planteó una aproximación sistémica de la relación de la producción de bioetanol y su relación con aspectos que miden la sostenibilidad, esto por medio de un diagrama causal que representa la cadena de suministro de bioetanol con indicadores de sostenibilidad establecidos internacionalmente, mostrando así, realimentaciones y relaciones causales de la dinámica del sector y su afectación a la sostenibilidad.

Se percibe que es imperativa la puesta en marcha de un programa de sostenibilidad de producción de biocombustibles en Colombia, ya sea un esquema de certificación o evaluación y seguimiento de los indicadores GBEP. Dado esto se requieren de herramientas que permitan la evaluación de la sostenibilidad es diferentes tiempos y periodos de evaluación, es decir una evaluación prospectiva. Una de estas herramientas es la Metodología de dinámica de sistemas por medio de la cual se pueden capturar hipótesis como la mostrada en este artículo. Sin embargo, se debe ir más allá, se debe identificar los indicadores de sostenibilidad que apliquen para cada contexto y realizar el modelamiento y simulación de distintos escenarios, con el fin de evaluar la sostenibilidad.

Aunque los indicadores proveen información sobre efectos potenciales o reales de las actividades humanas actividades industriales específicas (Dale *et al.*, 2013), en este sentido, para una evaluación exitosa de sostenibilidad con indicadores estos deben haber sido

escogidos dentro de un contexto bien definido, donde se vincule desde la extracción de las materias primas hasta la distribución o mezcla del biocombustible a evaluar.

Literatura citada

- Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia, Asocaña. (2012). *Informe anual 2011 - 2012*. Cali: Asocaña.
- Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia, Asocaña. (2016). *Informe anual 2015 - 2016*. Cali: Asocaña.
- Chauvet, M. & González, R. (2008). Biocombustibles y cultivos biofarmacéuticos: ¿oportunidades o amenazas? *Revista El Cotidiano, Redalyc*, 23(147), 51-61.
- Consorcio CUE, (2012).Capitulo II: Estudio ACV - Impacto Ambiental. Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles en Colombia. Banco Interamericano de Desarrollo, Ministerio de Minas y Energía, Medellín.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social, CONPES (2008).Lineamiento de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia. Departamento Nacional de Planeación, Bogotá.
- Dale, V.H., Efroymson, R., Kline, K., Langholtz, M., Leiby, P., Oladosu G., Davis, M., Downing, Hilliard, M, (2013). Indicators for assessing socioeconomic sustainability of bioenergy systems: A short list of practical measures. *Ecological Indicators* 26. 87–102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.10.014>
- Esteves, B. (2013). Beyond common place biofuels: Social aspects of ethanol, *Energy Policy* 57(2013)355-362
- Espinoza, A., Bautista, S., Narvaez, C., Alfaro, C., Camargo, M. (2017) Sustainability assessment to support governmental biodiesel policy in Colombia: A system dynamics model. *Journal of Cleaner Production* 141 (2017) 1145-1163
- Flórez, A.M. (2011) Modelo regional de producción y transporte de biocombustibles en Colombia. Tesis Maestría. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Minas, Escuela de Sistemas Medellín, Colombia.
- Fedesarrollo Colombia. (2012) Garcia, H., Calderon, L. Evaluación de la política de Biocombustibles en Colombia. Fedesarrollo. Recuperado de <http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2011/08/Evaluaci%C3%B3n-de-la-pol%C3%ADtica-de-Biocombustibles-en-Colombia.pdf>
- Federación Nacional de Biocombustibles Fedebiocombustibles (2016). Cifras Informativas del Sector Biocombustibles.Etanol de caña anhídrido en 2016.
- Forrester J. (1999a). *Industrial Dynamics*. Waltham: Pegasus Communications, Inc.
- Forrester J. (1999b). *Urban Dynamics*. Waltham: Pegasus Communications, Inc.
- Global Bioenergy Partnership, GBEP (2011). The global bioenergy partnership sustainability indicators for bioenergy. Rome: Global Bioenergy Partnership; 2011.
- Ibarra, Vega, D.W. & Redondo, J.M. (2015). Dinámica de Sistemas, una herramienta para la educación ambiental en ingeniería. *Revista Luna Azul*, 41, 152- 164.
- Ibarra, D.W (2017). Modelado para la evaluación de Sostenibilidad en la Cadena de Suministro de Bioetanol. Tesis Doctoral, Ingeniería- Línea Automática. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computacional. Manizales, Colombia.
- Janssen, R. & Rutz, D. (2011). Sustainability of biofuels in Latin America: Risks and opportunities. *Energy Policy* 39, 5717–5725 doi:10.1016/j.enpol.2011.01.047
- Sánchez,Ó.J. & Cardona,C.A.,(2008) .Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresource.Technology*.99, 5270–5295.
- Scarlat N. & Dallemand J.F. (2011) Recent developments of biofuels/ bioenergy sustainability certification: a global overview. *Energy Policy*; 39(3),1630-46
- Sánchez, O. (2008) Síntesis de Esquemas Tecnológicos Integrados Para la Producción Biotecnológica de Alcohol Carburante a Partir de Tres Materias Primas Colombianas. Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería Química Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

Valencia, M. & Cardona, C.A. (2014) The Colombian biofuel supply chains: The assessment of current and promising scenarios based on environmental goals. *Energy Policy* 67 232242

Valencia, M. (2013) Assessment of Greenhouse Gases Emissions Associated To Colombian Biofuels Lifecycle. Tesis Maestría, Departamento de Ingeniería Química Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

EVALUACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL EN LA SUBCUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO FRÍO EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA: OFERTA, DEMANDA Y CALIDAD DEL AGUA

EVALUATION OF THE SURFACE WATER RESOURCE IN THE HYDROGRAPHIC FRÍO RIVER SUBBASIN AT CUNDINAMARCA DEPARTMENT: OFFER, DEMAND AND QUALITY OF THE WATER

Melissa Andrea Hoyos Chaverra¹
Denisse Ariana Rodríguez Barrientos²
Jesús Ernesto Torres Quintero³

¹ Est. Ingeniería Ambiental, Universidad Libre. Colombia

² Est. Ingeniería Ambiental, Universidad Libre. Colombia

³ Magíster en Recursos Hidráulicos. Investigador docente Universidad Libre. Colombia

¹ melissaa.hoyosc@unilibrebog.edu.co

² denissea.rodriguez@unilibrebog.edu.co

³ jesuse.torresq@unilibre.edu.co

Resumen

Colombia es uno de los países más ricos en cuanto a recurso hídrico se refiere; sin embargo, se ha visto afectado por la alta demanda generada por las poblaciones y por el desarrollo agroindustrial. Por ello, este estudio busca determinar si el Río Frío, como fuente de abastecimiento de agua de diversos municipios, satisface la necesidad de agua potable de éstos, estableciendo también si las actividades económicas generan un impacto negativo sobre este recurso. La evaluación se realizó en cuatro etapas: la primera consistió en la definición de la oferta hídrica por medio de la metodología de Caudal Medio Puntual establecida por

el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM); la segunda etapa se basó en la determinación de la demanda superficial según el segundo escenario establecido por el IDEAM, teniendo en cuenta la existencia y confiabilidad de la información; la tercera etapa consistió en realizar la relación Demanda-Oferta; y la cuarta se centró en estimar la calidad del agua mediante la evaluación de los parámetros físicos y químicos, el cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA). Como resultado, se obtuvo que actualmente la oferta hídrica no es suficiente para satisfacer la demanda de los municipios; la cual es,

principalmente, de índole agrario, por lo cual es necesario buscar otras fuentes de suministro de agua. Además, se encontró que la calidad del Río Frío es baja; particularmente, debido a las descargas de aguas residuales e industriales provenientes de poblaciones aledañas.

Palabras clave: calidad, demanda, oferta, subcuenca, superficial.

Abstract

Colombia is one of the richest countries in terms of water resources, however it has been affected by the high demand generated by populations and agroindustry development. Therefore, this study was focused on the determination of the Frio River capabilities, as a source of water supply for several municipalities, for satisfying their needs for drinking water, also establishing if the economic activities generate a negative impact on this resource. The evaluation was carried out in four stages: the first one consisted of the definition of the water supply by means of the Method of

Average Point Flow established by the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (IDEAM); the second stage was based on the determination of the surface demand according to the second scenario established by the IDEAM, taking into account the existence and reliability of the information; the third stage consisted of establishing the supply-demand relation; and the fourth one was focused on estimating the water quality by means of the evaluation of the physical and chemical parameters and the calculation of the Water Quality Index. As results, it was obtained that the current water supply is not sufficient to satisfy the demand of the municipalities, which is mainly of agrarian nature, making necessary the search of other sources for water supply, besides obtaining that quality of the Frio River is low, mainly due to the wastewater and industrial waters coming from the towns bordering it.

Keywords: demand, offer, subbasin, superficial, quality.

Introducción

Desde los comienzos de la humanidad, el agua ha jugado un papel importante en el desarrollo de la sociedad y el crecimiento de las poblaciones ha generado un incremento en el uso del agua para la producción de alimentos y de energía, entre otros, con el fin de satisfacer la demanda de los seres humanos y mejorar su bienestar. Sin embargo, los cambios en la forma en la que se usa el agua tienen efectos negativos importantes que requieren una atención urgente que garantice la sostenibilidad (UNESCO, 2006). Esto se observa en Colombia, ya que es un país rico hídricamente, en donde este recurso presenta una alta demanda, viéndose así afectado debido a los grandes asentamientos humanos y el desarrollo

industrial, generando presión y escasez sobre el recurso, además de la alteración de la calidad del agua (IDEAM, 2014), siendo estas razones determinantes y necesarias para evaluar las pequeñas fuentes hídricas del país, como se realiza en este caso, al evaluar el balance oferta-demanda en el Río Frío, así como su calidad.

Debido a que el Río Frío atraviesa los municipios de Tabio, Cajicá, Chía, Cogua, Cota, Tenjo y Zipaquirá (CAR, 2006), constituye una fuente de abastecimiento para estos municipios, además de contribuir al desarrollo agrícola e industrial de toda la zona que abarca; sin embargo, estos beneficios se han visto afectados

por el crecimiento desmedido de la población de dichos municipios y por la contaminación que se ha venido incrementando en este río como consecuencia del desarrollo industrial presente en esa zona (Venegas, 2013).

Por ende, este trabajo se centra en la determinación de la capacidad del Río Frío, como fuente de abastecimiento de agua, para satisfacer la necesidad de agua potable en los municipios mencionados anteriormente tanto para la presente como para la futura demanda en cuanto a las diversas actividades socioeconómicas en las cuales se basa la economía de los municipios aledaños. Para ello, se propone realizar una evaluación de la oferta hídrica y demanda superficial, así como de la calidad del agua mediante el análisis hidrológico con base en características morfométricas, relativas a los principales abastecimientos de agua de los diversos municipios y mediante la planificación para un manejo integral de este recurso hídrico.

Materiales y Método

Objetivo uno. Definición de la oferta hídrica de la subcuenca hidrográfica del Río Frío en Cundinamarca. Para efectos de cálculo de la oferta hídrica del Río Frío, se dispuso de la metodología de Caudal medio puntual en las corrientes de interés establecida por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2004). La elección de este método se debe a la información disponible, dado que éste se utiliza cuando los registros de caudal son series cortas o no confiables. Este método consiste en determinar el caudal disponible de utilización de una corriente, para lo cual es necesario conocer los caudales mínimos y medios de la subcuenca, los cuales fueron obtenidos de la estación limnimétrica correspondiente. Posteriormente, con base en los caudales medios, se realizó la curva de duración de caudales, la cual permitió observar la variabilidad de los caudales en el tiempo y tener un

mejor conocimiento en el manejo de la disponibilidad del agua, y por consiguiente, explicar la relación demanda-oferta. Para el cálculo del caudal de la oferta, se tomó el 50% de frecuencia de la Curva de Duración de Caudales y el caudal ecológico, el cual es el 25% del caudal mínimo mensual de la cuenca.

Los resultados aquí obtenidos se encuentran representados mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG); específicamente, ArcGis.

Objetivo dos. Determinación de la demanda superficial en los municipios pertenecientes a la subcuenca hidrográfica del Río Frío en Cundinamarca. Para la determinación de la demanda superficial de la subcuenca hidrográfica del río Frío se dispuso de la información reportada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2004), el cual ofrece tres diferentes tipos de escenarios para el cálculo de la demanda según la existencia y confiabilidad de la información. En este caso, se seleccionó el escenario dos, aplicable cuando se dispone de información medida pero insuficiente; siendo las concesiones de agua de los municipios aledaños al río la información existente utilizada, la cual fue proporcionada por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). Para la información inexistente se determinó la demanda total mediante el tercer escenario propuesto por el IDEAM, implementando la ecuación (1).

$$(1). \quad DT=DD+DI+DA+DP+DS$$

Donde:

DT: Demanda total de agua.

DD: Demanda de uso doméstico.

DI: Demanda de uso industrial.

DS: Demanda del sector de servicio.

DA: Demanda del sector agrícola. DP: Demanda del sector pecuario.

Como se indicó en la fase uno, los resultados aquí obtenidos se encuentran representados mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG); específicamente, ArcGis.

Objetivo tres: Relación demanda-oferta.

Realizados los cálculos de oferta y demanda, se realizó una relación demanda-oferta; en primer lugar, mediante un balance; y en segundo lugar, implementando la expresión del Índice de Escasez, representada por la ecuación (2).

$$(2) Ie = \frac{Dh}{Oh} * 100 \%$$

Donde:

Ie: Índice de Escasez en Porcentaje.

Dh: Demanda Hídrica Total.

Oh: Oferta Hídrica.

El resultado obtenido se evaluó a partir de la información recogida en la Tabla 1.

Tabla 1. Categorización del Índice de Escasez (IDEAM, 2004)

| Categoría | Rango | Color |
|-----------|-----------|----------|
| Alto | >40 % | Rojo |
| Medio | 20 – 40 % | Naranja |
| Moderado | 10 - 20 % | Amarillo |
| Bajo | < 10% | Verde |

Objetivo cuatro. Evaluación de la calidad del agua de la subcuenca hidrográfica del Río Frío en Cundinamarca.

La estimación de la calidad del agua del Río Frío se realizó mediante la determinación del Índice de Calidad de Agua (ICA), metodología propuesta por el IDEAM, en ciertos tramos del Río Frío, siendo el ICA calculado a partir de la ecuación (3).

$$(3) ICA_{njt} = \sum(Wi * I_{ikjt})$$

Donde:

ICA_{njt} : Índice de calidad del agua del Río Frío, en el punto de muestreo j en el tiempo t, evaluado con base en n variables.

Wi : Ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i.

I_{ikjt} : Valor calculado de la variable i (obtenido de aplicar la ecuación correspondiente para cada variable), en el punto de muestreo j, registrado durante la medición realizada en el semestre k, del período de tiempo t.

n: Número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; en este caso n es igual a cinco.

De modo que, el valor del ICA calculado en cada punto de muestreo se comparó con la Tabla 2 relativa a la calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA.

Tabla 2. Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA (IDEAM, 2013)

| Categorías de valores que puede tomar el indicador | Calificación de la calidad del agua |
|--|-------------------------------------|
| 0,00 – 0,25 | Muy mala |
| 0,26 – 0,50 | Mala |
| 0,51 – 0,70 | Regular |
| 0,71 – 0,90 | Aceptable |
| 0,91 – 1,00 | Buena |

Los resultados obtenidos de los valores del ICA para cada punto de muestreo se encuentran representados mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG); específicamente, ArcGis.

Resultados

Objetivo uno. Definición de la oferta hídrica de la subcuenca hidrográfica del Río Frío en Cundinamarca.

Para el análisis de los caudales medios del Río Frío se seleccionaron 5 estaciones limnimétricas, las cuales se

encontraban dentro de esta subcuenca.

En la Tabla 3 se presentan las 5 estaciones seleccionadas junto con los rangos de años correspondientes y sus respectivas coordenadas.

Tabla 3. Estaciones limnimétricas de Río Frío

| Estación | N | E | Rango de años | Cuenca |
|-----------------|---------|---------|---------------|--------|
| Pozo Hondo | 1051425 | 1001930 | 1999-2014 | Media |
| Páramo Guerrero | 1056700 | 1003500 | 1997-2014 | Alta |
| Puente Virginia | 1036500 | 1001200 | 1947-2014 | Baja |
| Puente Cacique | 1029550 | 1001330 | 2007-2014 | Baja |
| Puente Calamar | 1038840 | 999380 | 1995-2014 | Media |

En la Figura 1 a la Figura 5, se pueden encontrar las curvas de duración de caudales para cada una de las estaciones presentadas.

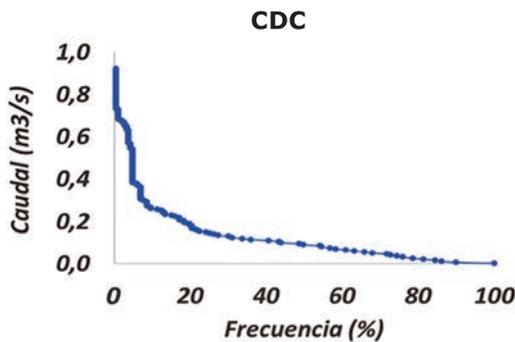


Figura 1. CDC Estación Páramo Guerrero.

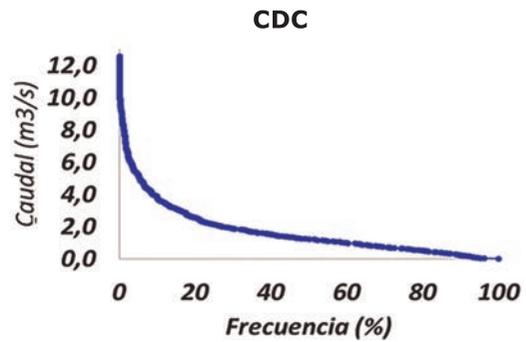


Figura 3. CDC Estación Puente Virginia.

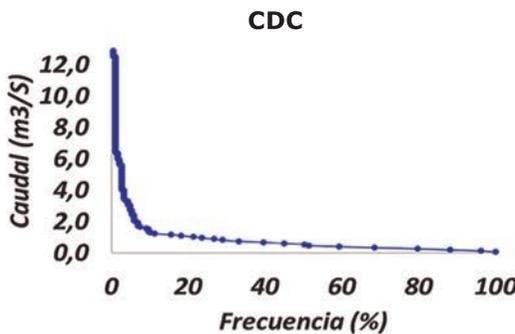


Figura 2. CDC Estación Pozo Hondo.

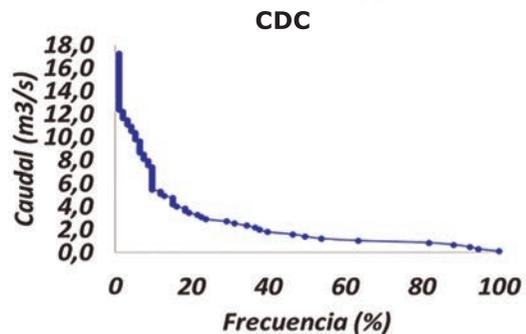


Figura 4. CDC Estación Puente Cacique.

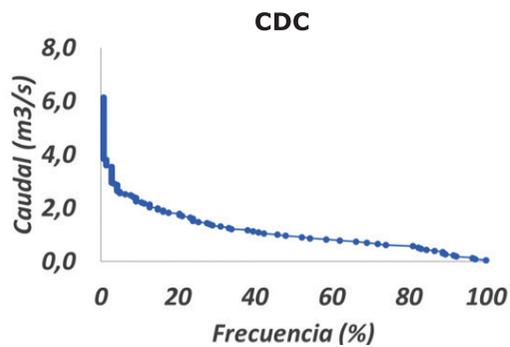


Figura 5. CDC Estación Puentes Calamar.

Con base en las CDC se tomó el 50% de frecuencia y se restó el caudal ecológico, determinando así la oferta total, presentada en la Tabla 4.

Tabla 4. Oferta del Río Frío

| Estación | Q(m ³ /s) | Qmin(m ³ /s) | Qeco(m ³ /s) | Oferta(m ³ /s) | Oferta (l/s) |
|-----------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------|
| Pozo Hondo | 0,55 | 0,029 | 0,00725 | 0,5428 | 542,8 |
| Páramo Guerrero | 0,0947 | 0,002 | 0,0005 | 0,0942 | 94,2 |
| Puente Virginia | 1,246 | 0,001 | 0,00025 | 1,2458 | 1245,8 |
| Puente Cacique | 1,48 | 0,013 | 0,00325 | 1,4768 | 1476,8 |
| Puente Calamar | 0,936 | 0,029 | 0,00725 | 0,9288 | 928,8 |

La figura 6 presenta el mapa resultante de la oferta (Ver anexo). se presenta el mapa resultante de la oferta.

Objetivo dos. Determinación de la demanda superficial en los municipios pertenecientes a la subcuenca hidrográfica del Río Frío en Cundinamarca. Para la determinación de la demanda industrial y pecuaria, se manejó la información suministrada por la Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR) de las Concesiones de Agua del Censo de 2009, teniendo en cuenta los módulos de consumo correspondientes a cada industria y cabezas de ganado.

Por otro lado, para el cálculo de la demanda doméstica se consideró la proyección poblacional del DANE para el año 2017 y las áreas de cada municipio correspondiente a la subcuenca del Río Frío, y por último, para establecer

la demanda agrícola, se hizo uso del shapefile de cobertura de uso del suelo del IGAC y los módulos de consumo por cultivo para el Río Frío. Los módulos de consumo fueron tomados del Estudio de Módulos de Consumo de la CAR (2005), siendo la Demanda Hídrica Total la suma de todas las anteriores.

En la Tabla 5 y en la Figura 2 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 5. Demanda de Río Frío

| Demanda | Caudal (L/s) |
|--------------|-----------------|
| Doméstica | 56,110 |
| Industrial | 3,130 |
| Pecuaria | 0,215 |
| Agrícola | 2392,870 |
| Total | 2452,325 |

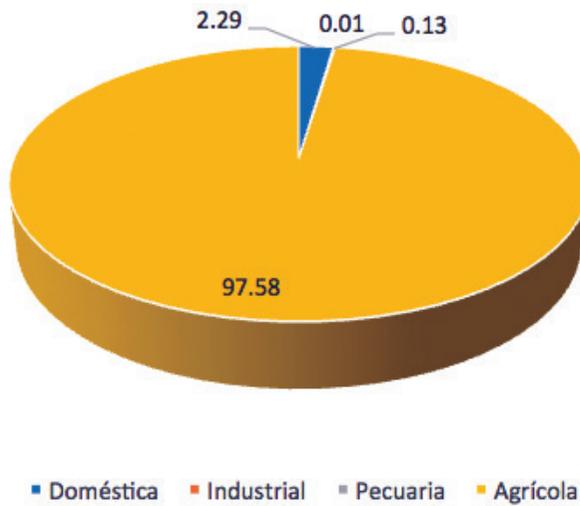


Figura 7. Porcentaje de demanda del Río Frío.

Teniendo en cuenta que el 97,58 % de la demanda es de origen agrícola, se presenta el mapa resultante de Demanda Agrícola en la figura 8 (Ver anexo).

Objetivo tres. Relación oferta–demanda.

En la Tabla 6 se observan los resultados del balance y del Índice de Escasez obtenidos.

Tabla 6. Resultados del balance y del Índice de Escasez

| | |
|----------------------------|-----------------|
| Demanda Total (l/s) | 2452,325 |
| Oferta (l/s) | 1476,8 |
| Balance (l/s) | -975,525 |
| Índice de Escasez | 166 |
| Categoría | Demanda Alta |

Objetivo cuatro. Evaluación de la calidad del agua de la subcuenca hidrográfica del Río Frío.

Para realizar la evaluación del ICA mencionado anteriormente, se tuvieron en cuenta los valores de diversas variables físicas y químicas proporcionadas por la autoridad ambiental, CAR Cundinamarca, en 4

puntos de muestreo a lo largo de la subcuenca media y baja del Río Frío. Dichos puntos de muestreo fueron considerados como significativos debido a que en estas divisiones de la cuenca se presentan impactos negativos sobre el recurso hídrico; ya que, aledañas a estas subcuencas, se encuentran las poblaciones y las diversas industrias que agotan dicho recurso y generan vertimientos al río, contaminándolo y deteriorando la calidad de éste. En la Tabla 7 se presentan los 4 puntos de muestreo elegidos.

Tabla 7. Puntos de muestreo para determinar la calidad del agua del Río Frío.

| Punto de muestreo | N | E | Cuenca |
|--|---------|---------|--------|
| Río Frío aguas abajo de la empresa Rosas de Colombia | 1037616 | 998700 | Media |
| Estación Puente Virginia | 1036500 | 1001200 | Baja |
| Estación Puente Cacique | 1029550 | 1001330 | Baja |
| Río Bogotá aguas abajo del Río Frío | 1026531 | 998628 | Baja |

De este modo, para el cálculo de este índice se tuvieron en cuenta también las mediciones de las variables pH, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto en los 4 puntos de muestreo presentados anteriormente, durante el segundo semestre del año 2014. Los datos recogidos se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores de los parámetros físicos y químicos de los puntos de muestreo del Río Frío utilizados para el cálculo del ICA)

| Punto de muestreo | Oxígeno disuelto (mgO ² /L) | Demanda química de oxígeno (mgO ² /L) | Sólidos suspendidos totales (mgSST/L) | pH | Conductividad (mS/cm) |
|--|--|--|---------------------------------------|------|-----------------------|
| Río Frío aguas abajo de la empresa Rosas de Colombia | 6,40 | 11,00 | 10,00 | 6,40 | 54,90 |
| Estación Puente Virginia | 7,10 | 11,00 | 5,00 | 7,40 | 51,70 |
| Estación Puente Cacique | 0,60 | 168,00 | 58,00 | 7,20 | 292,00 |
| Río Bogotá aguas abajo del Río Frío | 0,90 | 42,40 | 19,00 | 7,00 | 275,00 |

Con los anteriores datos y utilizando la respectiva ecuación (3) se procedió a calcular el valor

del ICA para cada punto de muestreo presentado en la Tabla 9.

Tabla 9. Valores del ICA para cada punto de muestreo

| Punto de muestreo | ICA | Calificación de la calidad del agua |
|---|------|-------------------------------------|
| Río Frío aguas debajo de la empresa Rosas de Colombia | 0,84 | Aceptable |
| Estación Puente Virginia | 0,91 | Buena |
| Estación Puente Cacique | 0,54 | Regular |
| Río Bogotá aguas abajo del Río Frío | 0,46 | Mala |

Con base en los resultados anteriores, se puede visualizar el estado del Río Frío mediante la figura 9 (Ver anexo).

Discusión

La cuenca del Río Frío se encuentra habitada en gran parte por una población de índole rural, con excepción del casco urbano de Chía, el cual cubre su demanda con otras fuentes de abastecimiento como es el Proyecto Tibitoc-Casablanca. Teniendo en cuenta lo anterior y que los municipios que conforman la cuenca basan su economía en la ganadería y la agricultura, la demanda del Río Frío se basa en el

riego de pastos y cultivos, considerando que es una zona de baja precipitación.

Por otro lado, en comparación con el POMCA del Río Frío realizado en el año 2006, en el cual se obtuvo una demanda total de 1320 L/s y una oferta de 1470 L/s, se puede observar que la oferta del río, al transcurrir los años, no ha presentado una variación representativa con respecto a la demanda, la cual aumentó aproximadamente 1000 L/s en 11 años, lo cual se puede deber al crecimiento poblacional e industrial que se ha presentado en los últimos años en esos municipios debido a la conurbación de Bogotá.

Así mismo se puede observar una variación en el Índice de Escasez, en donde para el POMCA del año 2006, el resultado fue de 88,4% siendo categoría alta; donde, en comparación con el presente estudio se puede observar que aumentó un 77,6%, sin presentar variación en la categoría ya que en los dos casos el porcentaje es mayor a 40.

En cuanto a la calificación del estado de la calidad del agua del río Frío, mediante la determinación del Índice de Calidad del Agua en cada punto de muestreo, se identificaron cuatro calificaciones de las cinco establecidas por el IDEAM, correspondientes a "Buena" para la estación Puente Virginia, y para la subcuenca alta del Río Frío debido a que sobre esta parte alta de la cuenca y en este punto no confluyen vertimientos de aguas residuales o industriales provenientes de poblaciones o actividades económicas, reflejado esto en valores mínimos de las variables que inciden en la determinación del ICA. También se identificó "Aceptable" para el punto aguas abajo de la empresa Rosas de Colombia, una calidad menor que la mencionada anteriormente; posiblemente, debido a los vertimientos que genera esta empresa sobre el río. Igualmente, se estableció la calificación "Regular" para la estación Puente Cacique, y "Mala" para el punto aguas abajo del Río Frío, lo cual puede ser debido a la ubicación de estos puntos de muestreo, ya que al ser los puntos más bajos de la subcuenca, son los que mayor contaminación reciben debido a las aguas residuales e industriales provenientes de poblaciones y actividades económicas aledañas. En este sentido, en estos puntos de muestreo la composición química del agua, así como la fauna y la flora, se ven afectadas debido a la degradación de este recurso hídrico, disminuyendo su calidad y, por lo tanto, haciendo este recurso poco apto para suplir las necesidades de las

poblaciones que requieren de éste para diversas actividades económicas.

Conclusión

Al realizar la evaluación de la subcuenca del Río Frío, se determinó que la oferta hídrica suministrada por el cuerpo de agua no logra satisfacer la demanda superficial de los municipios aledaños utilizada para la realización de sus actividades económicas; principalmente, el riego de pastos y cultivos de papa, arveja, zanahoria y maíz; generando una fuerte presión sobre este recurso hídrico.

En cuanto a la calidad del agua del Río Frío, se observó que presenta una "buena" calidad en la subcuenca alta, indicando que el recurso hídrico de esta zona es adecuado para el desarrollo de las diferentes actividades económicas de los municipios; sin embargo, se obtuvo también que la calidad de este cuerpo hídrico tiende a disminuir en las subcuencas media y baja al reflejar estados de calidad "aceptable", "regular" y "malo", respectivamente, en el transcurso del río; por lo cual se obtiene que el recurso en general, presenta indicios de una contaminación significativa, y por ende, se considera que el Río Frío no es apto para suplir las diversas necesidades de los municipios, siendo necesario la implementación de prácticas de producción más limpias por parte de los sectores productivos para mitigar la generación de residuos que causen impactos negativos sobre el Río Frío.

Literatura citada

- Corporación autónoma regional de cundinamarca - CAR, (2005). ACUERDO No. 31 del 19 de septiembre de 2005". Recuperado de: <https://www.indumil.gov.co/wp-content/uploads/2016/03/2.-Acuerdo-CAR-31-de-2005.pdf>
- Corporación autónoma regional de cundinamarca - CAR, (2006). plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río bogotá". Recuperado de: <http://www.alcaldiabogota.gov>

co/sisjur/adminverblobawa?tabla=T_NORMA_ARCHIVO&p_NORMFIL_ID=305&f_NORMFIL_FILE=X&inputfileext=NORMFIL_FILENAME

- Corporación autónoma regional de cundinamarca - CAR, (2009). Resolución opsc n° 00026 de 2009. Recuperado de: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=36216>.
- Flores, M. Gestión integrada de los recursos hídricos, de la cuenca hidrológica del río papagayo, estado de guerrero. Trabajo de investigación (Doctor en Ciencias y Tecnología del Agua). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Facultad de ingeniería. México, 2014, p. 270.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, (2004). Metodología para el cálculo del índice de escasez de agua superficial". Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021143/metodologia-calculo.pdf>.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, (2013). Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA). Recuperado de: http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36-3.21_HM_Indice_calidad_agua_3_FI.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, (2014). Estudio Nacional del Agua". Recuperado de: Available: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf.
- Puyol, A. F. (2006). Principios y fundamentos de la hidrología superficial. Mexico : Universidad Autonoma de Mexico . Obtenido de http://www.uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/principios_fundamentos/libro-PFHS-05.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura - UNESCO, (2006). Water a shared responsibility The United Nations World Water Development Report 2. Recuperado de: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001444/144409E.pdf>.
- Venegas, C. (2013). Estudio preliminar de la subcuenca del río frío en el tramo comprendido por el municipio de cajicá". Recuperado de: http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11079/1/Entrega%20Final_Estudio%20Preliminar%20Estado%20del%20R%C3%ADo%20Fr%C3%ADo_Cesar%20Venegas.pdf.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

AN ENVIRONMENTAL NOISE STUDY IN THE INDUSTRIAL, COMMERCIAL, RESIDENTIAL AREAS AND ARTERIAL ROADS IN WESTERN BOGOTA, COLOMBIA

UN ESTUDIO DE RUIDO AMBIENTAL EN EL SECTOR INDUSTRIAL, ÁREAS COMERCIALES, RESIDENCIALES Y ARTERIALES EN EL OESTE DE BOGOTÁ, COLOMBIA

Fredy Alejandro Guevara Luna¹

Marco Andrés Guevara Luna²

¹ *Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.*

² *Departamento de Ingeniería de Procesos, Smart & Simple Engineering - S&SE S.A.S., Bogotá, Colombia; Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA), Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) Bogotá, Colombia.*

¹ marco.guevara@unad.edu.co

Abstract

Noise pollution as byproduct of development and urban activity is related with a great amount of economical, social and cultural variables, whose importance as stressing, and possible even dangerous agent in human life has come to be recognized in the last decades. In this case the megacity of Bogotá is the capital of Colombia, located in the center of the country. Bogotá is a very variable city in terms of economical and social level location, and even use of soils in the city planning. The factors mentioned above makes Bogotá a very complex analysis system for sound and noise pollution studies. Due to the size of the city, in this study the western area of the capital district was analyzed through sound measurements in 7 sites selected by types of areas, involving commercial, transportation, industrial,

residential and arterial roads. The main objective of this study was to identify the most important noise sources in the western area of the city. This study allowed to identify the arterial roads as one important source of noise in the city, possibly due to the traffic or heavy vehicles inside the city. The maximum harmful levels of sound reach values of about 85 dB in the mentioned locations (Ciudad de Cali avenue, Cll 13 avenue arterial roads and Salitre – El Greco Transmilenio Station), exceeding the permitted limits of 75 dB(A) according to the local environmental standards.

Keywords: Noise pollution, environmental noise, public health, sound measuring, environmental policies.

Resumen

La contaminación acústica como subproducto del desarrollo y la actividad urbana está relacionada con una gran cantidad de variables económicas, sociales y culturales, cuya importancia como agente estresante, e incluso peligroso, en la vida humana ha llegado a ser reconocida en las últimas décadas. En este caso, la megaciudad de Bogotá es la ciudad capital de Colombia, ubicada en el centro del país. Bogotá es una ciudad muy variable en términos de ubicación de nivel económico y social, y uso de suelos en la planificación de la ciudad. Los factores mencionados anteriormente hacen de Bogotá un sistema de análisis muy complejo para estudios de contaminación acústica y sonora. Debido al tamaño de la ciudad, en este estudio se analiza el área occidental del distrito capital a través de mediciones sonoras en 7 diferentes tipos de áreas seleccionadas, que incluyen carreteras comerciales, de

transporte, industriales, residenciales y arteriales. El objetivo principal de este estudio es identificar las fuentes de ruido más importantes en el área occidental de la ciudad. Este estudio permitió identificar las carreteras principales como una importante fuente de ruido en la ciudad, posiblemente debido principalmente al tráfico de vehículos pesados en el interior. Los niveles máximos y dañinos de sonido alcanzan valores de aproximadamente 85 dB en los lugares mencionados (Av. Ciudad de Cali, Av. CII 13 vías arteriales y Salitre - Estación El Greco Transmilenio), excediendo los límites permitidos de 75 dB (A) de acuerdo con las normas de regulación de las autoridades ambientales locales.

Palabras Clave: Contaminación acústica, ruido ambiental, salud pública, medición sana, políticas ambientales.

Introduction

New advances in sciences and technology have large impacts in the society. Those impacts go through economic, cultural, health and social issues. However, progress also entails some significant drawbacks that would be preferably avoided, or at least minimized. One such case is noise pollution, whose importance as stressing, and possible even dangerous, agent in human life has come to be recognized in the last decades (Barrigón Morillas, Gómez Escobar, Méndez Sierra, Vílchez Gómez, & Trujillo Carmona, 2002; de Noronha Castro Pinto & Moreno Mardones, 2009; Hunashal & Patil, 2012; Silva & Mendes, 2012; USEPA – US Environmental Protection Agency, 1978; Zannin, Diniz, & Barbosa, 2002). Regarding noise pollution in large cities several impacts in human health, and finally public health, have been clearly identified and studied. Also impacts

of noise levels over animals and local species such as birds have been identified before (Francis, Kleist, Ortega, & Cruz, 2012; Istrate, Oprea, Rada, & Torretta, 2014; Ortega, 2012).

The effect of noise pollution in different location all over the globe deeply depends of several variables: level of development, total population and population density, kind of activities involved, culture, local habits, geographic location, soil usage, etc. the factor described above make necessary to characterize carefully the site and the situation under the study (Barrigón Morillas et al., 2002; Fiedler & Zannin, 2015; Silva & Mendes, 2012).

Bogotá is the capital of Colombia, located in the center of the country. It is one of the densest cities in Colombia with 10,700,000 inhabitants

in the metropolitan area, in a surface extension of 1,580 km²(DANE, 2006). Bogotá is a very variable city in terms of economical and social level location, and land use of in the city planning (Ramírez et al., 2018). Even when Bogotá has regulations and public administration entities in charged of monitoring the noise pollution emissions (Secretaria Distrital de Ambiente, 2006, 2010a, 2010b), there is concern about the actual situation of the city in noise levels aspects and other contamination forms of the environment (Ramírez, Mura, & Franco, 2017).

Factors mentioned above makes Bogotá a very complex system to be taken as object of study in any technical field, in this case sound and noise pollution. Due the size of the city, in this study the western area of the city was analyzed through sound measurements in 7 different selected types of areas, involving commercial, transportation, industrial, residential and arterial roads.

The main goal of this study was to define the noise levels in the western region of the Bogotá capital city for 3 types of locations: commercial (Gran estación and Diverplaza), transportation (Salitre- El Greco Transmilenio station), industrial areas, residential and arterial roads (Av. ciudad de Cali and Av. Cll 13). Other important target of this research was to identify the most important noise sources in the locations established for the study founding the base for further researches and stimulating actions by the local public regulation institutions.

This research was performed using measurements for the 7 selected locations of the city region during 30 minutes, according to the established procedures by the local authorities standards, for selected dates (Secretaria Distrital de Ambiente, 2006). Sonometer CIRBUS 162-B CLASS 2 was used.

This first study allowed to identify the arterial roads as one important source of noise in the city, possibly mainly due to the traffic or heavy vehicles inside the city. The maximum harmful levels of sound reached values of about 85 dB in the mentioned locations (Av. Ciudad de Cali, Av. Cll 13 arterial roads and Salitre – El Greco Transmilenio Station) exceeding the permitted limits of 75 dB(A) according to the environmental local authorities regulation standards (Francis et al., 2012; ISO, 2003, 2007, Secretaria Distrital de Ambiente, 2006, 2010a, 2010b; USEPA – US Environmental Protection Agency, 1978).

Methods

There are extensive studies regarding methods to study the sound levels in cities with different characteristics. In this case the size of the City makes necessary the use of an specific approach suggested by Brown and Lam (Brown, 1991; Brown & Lam, 1987). This strategy was described based on the selection of sampling points using a suitable classification of the urban noise and the location where it will be measured.

Approach mentioned has been implemented successfully in previous researches (de Noronha Castro Pinto & Moreno Mardones, 2009; Hunashal & Patil, 2012).

Based on this principle of sampling for the development of the study, the western area of the city was selected and inside this area 7 places were chosen as sampling points for the measurements during 30 minutes, according to the established procedures by the local authorities standards, for selected dates (Secretaria Distrital de Ambiente, 2006). These standards establish a maximum noise level allowed according to the local soil usage, for the areas under study the maximum value is 75 dB(A), and the minimum measuring time is 15 minutes.

Data processing was performed using Python® version 3.6 (Anaconda Python, n.d.). The Spyder IDE was the graphical user environment for the code development.

Places

Based on the method described before for the noise study, the 7 sampling sites are shown in

(Figure 1) and their coordinates are tabulated in (Table 1). The selected sampling points were located in zones of normal exposure of people. Also, all locations are in exterior-public sites with a great people traffic and concurrency in normal hours during the day, and particularly in the sampling hour.

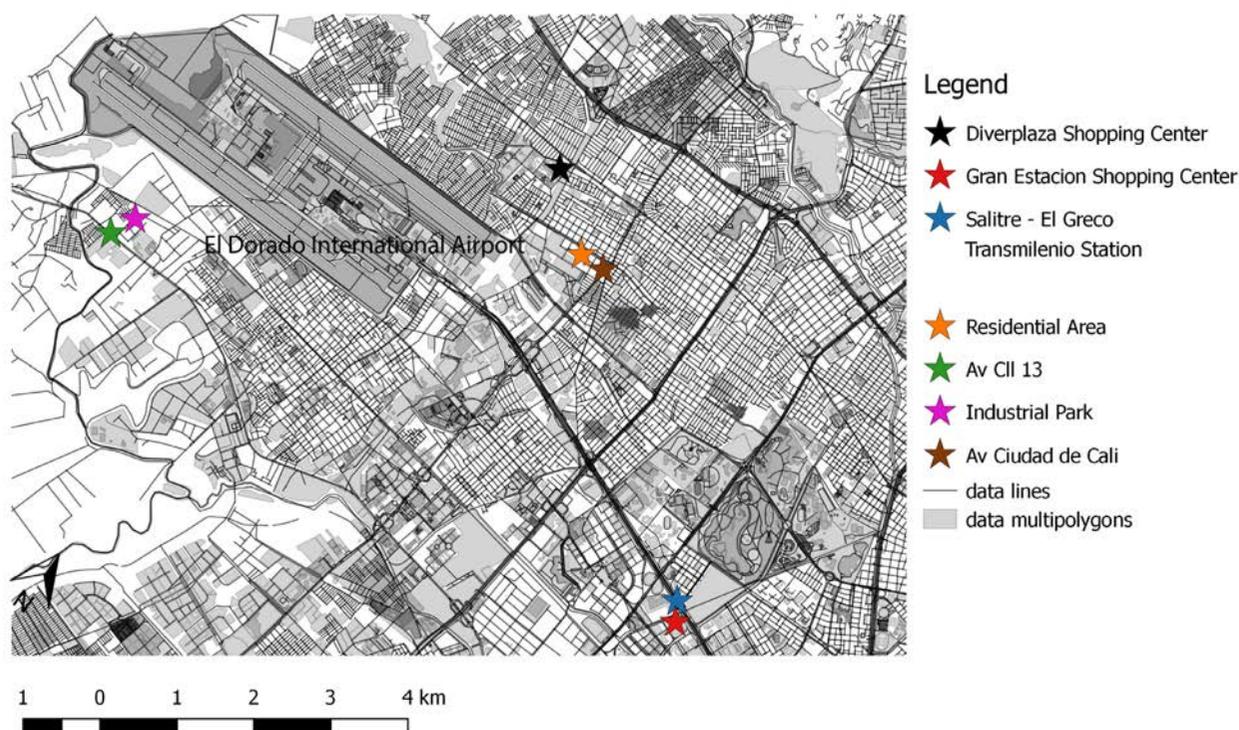


Figure 1. Measuring points location for this study according to the analysis strategy defined (This Research).

Measuring instrument

The sonometer used for this study was the CIRRUS 162-B CLASS 2 (CIRRUS Research plc, 2017). Universidad Nacional de Colombia supplied the measuring equipment. Technical personal from the institution performed the calibration of the equipment in January 2017, using the kit provided by CIRRUS.

Measuring procedure

The instrument was put on the tripod for data collection (Figure 2). All measurements were made on Monday at 11:00 am per 1800 seconds (30 minutes). Description about the sites is summarized in Table 1.



Figure 2. Measuring instrument in Ciudad de Cali Avenue (CIRRUS Research plc, 2017)

Table 1. Measured sound data summary, and geographical locations.

| Location | Coordinates | | Date | LAeq dB(A) | | | |
|---|-------------|-----------|------------|------------|--------|--------|----------------|
| | Lat | Long | | mean | Max | Min | Std. Deviation |
| Av. Ciudad de Cali arterial road | 4.68906 | -74.11007 | 16/01/2017 | 72.465 | 85.140 | 56.340 | 5.582 |
| Industrial area | 4.69494 | -74.16471 | 23/01/2017 | 52.224 | 61.930 | 47.350 | 2.455 |
| Av. Calle 13 arterial road | 4.69327 | -74.16759 | 30/01/2017 | 75.124 | 83.100 | 66.220 | 3.496 |
| Residential Area | 4.69080 | -74.11261 | 6/02/2017 | 52.640 | 71.630 | 45.160 | 5.392 |
| Salitre – El Greco Transmilenio Station | 4.65060 | -74.10145 | 13/02/2017 | 76.823 | 87.130 | 65.930 | 4.160 |
| Commercial area Gran Estación Shopping Center | 4.64816 | -74.10165 | 20/02/2017 | 62.300 | 73.000 | 56.320 | 3.385 |
| Commercial area Diverplaza Shopping Center | 4.70073 | -74.11513 | 27/02/2017 | 69.952 | 81.260 | 58.450 | 3.675 |

Results and discussion

The data collected in the 7 different sites along the western region of Bogotá is summarized in (Table 1). The data considered corresponds to the LAeq levels measured by the instrument. Data saved by the memory log of the measurement instrument have a temporal resolution of 1 s.

The data collected showed notable mean and maximum high levels for arterial vehicular

roads and the transportation station (Ciudad de Cali Avenue, CII 13 Avenue arterial roads and Salitre – El Greco Transmilenio Station). The mean levels were above 70 dB for LAeq, which are normal levels of noise in public sites. Even so, for these locations mentioned the maximum sound levels reached values of 85.140, 83.100 and 87.130 dB(A) respectively, that means these places are reaching harmful levels of noise with possible sensible effects in the public health of the population of this part of the city.

The peaks of the sound levels during the data sampling can be better observed graphically, the (Figure 3) (Anexo) shows the time series of the LAeq sound levels for the 7 sampling sites. There are notable peaks observed in all sites, but the scale of the arterial vehicular roads and the transportation station mentioned have considerable higher values of maximum levels. These observations permit to correlate the presence of vehicular activity with high noise levels, even with greater impact than the industrial area in this case.

The qualitative comparison of the noise levels in the sampling points is shown in the contour maps of noise levels (Figure 4). Again, the levels of noise for the locations mentioned before were higher in comparison as expected. The commercial and residential areas had normal sound levels, even when the noisy locations are close in spatial terms.

In this case, the industrial area had relatively low noise levels possibly due to low working intensity in the plants the day of the measurement. It is natural to expect higher sound levels in this type of area, further studies and measuring campaigns can bring additional data and results to take better planning decisions about the location of this kind of areas and its impacts. In addition, studies indoor in the commercial areas are necessary to analyze the particular situations inside shopping centers in Bogotá.

The arterial road in this study have the particular feature of high proportion of heavy vehicles in traffic. This aspect makes important the roads in terms of noise and atmospheric pollutants to the areas inside the city, and the effects in the population (Fiedler & Zannin, 2015; Pathak, Tripathi, & Mishra, 2008; Ramirez & Dominguez, 2013)



Figure 4. Sound Maps (LAeq units in dB(A)): a) Ciudad de Cali Avenue road and Residential area, b) Industrial area and CII 13 Avenue road, c) Transmilenio Salitre - El Greco station and Commercial Area Gran Estacion shopping center, d) Commercial area Diverplaza shopping center.

Conclusions

The sound levels of 7 different places were measured and summarized in this study. The sound levels measured were compared between them and with the harmful levels standard regulation values as 75 dB(A) (Secretaria Distrital de Ambiente, 2006), and its implications in human health. The arterial vehicular roads and the transportation station (Ciudad de Cali Avenue, CII 13 Avenue arterial roads and Salitre – El Greco Transmilenio Station) were the location with higher levels of noise, in terms of peaks for the maximum and mean measurements. For these locations, the maximum sound levels reached values of 85.140, 83.100 and 87.130 dB respectively, the mean values are about 70 dB lightly under the maximum allowed level.

For data collected, standard deviations between 3.385 and 5.582 dB(A) were obtained. These variability means that the sound levels trend to be stable at the mean values for each dataset. The location with the higher variability is the residential area, and the location with the lower variability is the commercial area.

The maximum values measured of about 85 dB are high enough to be harmful and affect negatively people health, and therefor affect the public health aspects of the city. These high levels can be related with the strong presence of heavy vehicles in the traffic roads inside the city. The regulations of heavy vehicles traffic inside the city must be regulated to mitigate problems of noise pollution taking this study as part of the technical evidence, and other issues regarding atmospheric contamination can be improved as well. In addition, negative impact of high noise levels in public health will generate economic loses to public budged of the city.

Further studies in another city places are required to observe and understand the

complete phenomena in relation with noise pollution. This study was developed in outdoor environments, will be also important to investigate about noise pollution indoor for many common environments of the city, such as: shopping centers, schools, hospitals, offices, and bus terminal stations. The results obtained can be useful for public administration entities in the future to make a suitable planning of the use of different areas inside the city and in its surroundings.

El Dorado International Airport was not considered in this case, but it will be interesting to consider the contribution of aircraft traffic in the situation of the city noise pollution nowadays and in the future.

Acknowledgements

Authors thanks to S&SE S.A.S (Smart and Simple Engineering S.A.S) in Colombia for financing this project and support this innovation environment since the very beginning, and the Universidad Nacional de Colombia for providing the measuring instrument and technical assistance for the development.

Cited literature

- Barrigón Morillas, J. M., Gómez Escobar, V., Méndez Sierra, J. A., Vilchez Gómez, R., & Trujillo Carmona, J. (2002). An environmental noise study in the city of Cáceres, Spain. *Applied Acoustics*, 63(10), 1061–1070. [https://doi.org/10.1016/S0003-682X\(02\)00030-0](https://doi.org/10.1016/S0003-682X(02)00030-0)
- Brown, A. L. (1991). Urban Noise Urban Noise, 50, 1–5.
- Brown, A. L., & Lam, K. C. (1987). Levels of ambient noise in Hong Kong. *Applied Acoustics*, 20(2), 85–100. [https://doi.org/10.1016/0003-682X\(87\)90056-9](https://doi.org/10.1016/0003-682X(87)90056-9)
- CIRRUS Research plc. (2017). Optimus Red Sound Level Meters for Occupational Noise Measurements. Retrieved July 4, 2017, from <http://www.cirrusresearch.co.uk/products/sound-level-meters/optimus-red-sound-level-meters/>

- De Noronha Castro Pinto, F. A., & Moreno Mardones, M. D. (2009). Noise mapping of densely populated neighborhoods - Example of Copacabana, Rio de Janeiro - Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 155(1-4), 309-318. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0437-9>
- Fiedler, P. E. K., & Zannin, P. H. T. (2015). Evaluation of noise pollution in urban traffic hubs-Noise maps and measurements. *Environmental Impact Assessment Review*, 51, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.09.014>
- Francis, C. D., Kleist, N. J., Ortega, C. P., & Cruz, A. (2012). Noise pollution alters ecological services : enhanced pollination and disrupted seed dispersal. *Proceedings of the Royal Society B*, 279(March), 2727-2735. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.0230>
- Hunashal, R. B., & Patil, Y. B. (2012). Assessment of Noise Pollution Indices in the City of Kolhapur, India. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 37, 448-457. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.310>
- ISO. (2003). *Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 1: Basic quantities and assessment procedures (ISO 1996-1:2003)*.
- ISO. (2007). *Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 2: Determination of environmental noise levels (ISO 1996-2:2007)*.
- Istrate, I. A., Oprea, T., Rada, E. C., & Torretta, V. (2014). Noise and air pollution from urban traffic. *The Sustainable City*, 191, 1381-1389. <https://doi.org/10.2495/SC141162>
- Ortega, C. (2012). Effects of Noise Pollution on Birds: A Brief Review of Our Knowledge. *Ornithological Monographs*, 74(1), 6-22. <https://doi.org/10.1525/om.2012.74.1.6.6>
- Pathak, V., Tripathi, B. D., & Mishra, V. kumar. (2008). Evaluation of traffic noise pollution and attitudes of exposed individuals in working place. *Atmospheric Environment*, 42(16), 3892-3898. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.12.070>
- Ramirez, A., & Dominguez, E. (2013). Modeling urban traffic noise with stochastic and deterministic traffic models. *Applied Acoustics*, 74(4), 614-621. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2012.08.001>
- Ramírez, O., Mura, I., & Franco, J. F. (2017). How Do People Understand Urban Air Pollution? Exploring Citizens' Perception on Air Quality, Its Causes and Impacts in Colombian Cities. *Open Journal of Air Pollution*, 6(1), 1-17. <https://doi.org/10.4236/ojap.2017.61001>
- Secretaria Distrital de Ambiente. (2006). Resolución 0627 De 2006. Bogotá: Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=19982>
- Secretaria Distrital de Ambiente. (2010a). Resolución 6918 de 2010. Bogotá: Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
- Secretaria Distrital de Ambiente. (2010b). Resolución 6919 de 2010. Bogotá: Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
- Silva, L. T., & Mendes, J. F. G. (2012). City Noise-Air: An environmental quality index for cities. *Sustainable Cities and Society*, 4(1), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2012.03.001>
- USEPA - US Environmental Protection Agency. (1978). Protective noise levels. Condensed version of EPA levels document. Washington, DC.
- Zannin, P. H. T., Diniz, F. B., & Barbosa, W. A. (2002). Environmental noise pollution in the city of Curitiba, Brazil. *Applied Acoustics*, 63(4), 351-358. [https://doi.org/10.1016/S0003-682X\(01\)00052-4](https://doi.org/10.1016/S0003-682X(01)00052-4)

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

EVALUACIÓN DE UNA ESTRATEGIA CENTRALIZADA Y UNA DESCENTRALIZADA PARA EL CONTROL DE CONTAMINACIÓN EN CUERPOS HÍDRICOS

EVALUATION OF A CENTRALIZED AND A DECENTRALIZED STRATEGY FOR THE CONTROL OF POLLUTION IN WATER BODIES

Ángela Vanessa Polanía Janzasoy¹

Luisa Fernanda Calderón-Vallejo²

¹ Est. Master of Science Programme in Water Resources and Environmental Management –
Leibniz Universität Hannover. Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle

² M.Sc., Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD -
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA).

¹ angela.polania@correounivalle.edu.co

² luisa.calderon@unad.edu.co

Resumen

El objetivo de este trabajo fue la construcción y aplicación de una estrategia hipotética (descentralizada) que contempla tres pasos: 1) maximizar la prevención o reducir la producción de agua residual, 2) tratar para la reutilización y 3) aprovechar la capacidad de autodepuración del cuerpo hídrico y compararla con una estrategia convencional (centralizada) fundamentada en la implementación de Plantas de Tratamiento de Agua Residual-PTARs como única estrategia para reducir la carga de contaminación entrante a cuerpos hídricos específicamente en la cuenca alta del río Cauca, la cual es la segunda cuenca hidrográfica más importante de Colombia, y contribuir así al planteamiento de la recuperación del río, en el tramo comprendido entre La Balsa y Anacaro (389 km aproximadamente). Es importante

mencionar que no se conocen estudios en el contexto que analicen la zona de estudio con la implementación de estas estrategias que van en armonía con la Gestión Integrada del Recurso Hídrico-GIRH, razón por la cual su estudio y análisis se convierte en un aspecto importante para planear a futuro el mejoramiento de la calidad de agua de los cuerpos hídricos receptores.

Los resultados de la investigación mostraron el potencial de la estrategia de los tres pasos que, combinado con la priorización, logran mayores remociones de carga contaminante en comparación con la estrategia centralizada. La carga total obtenida respectivamente fue 64,65T DBO₅*d⁻¹ y 86,34T DBO₅*d⁻¹, partiendo de una línea base en el 2011 de 169,54T DBO₅*d⁻¹.

logrando reducciones de 63% y 54%, respectivamente. Por otro lado, el OD mínimo en el río Cauca conseguido fue $3,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para la alternativa no convencional (descentralizada) y $2,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para la alternativa centralizada, siendo la primer estrategia planteada mayor contribuyente a la recuperación del río Cauca en su cuenca alta.

Palabras claves: aplicación de estrategias de descontaminación, control de contaminación, reducción de consumo, reúso, río Cauca, tratamiento de aguas residuales.

Abstract

The aim of this study was the construction and application of a hypothetical (decentralized) strategy that includes three steps: 1) maximize the prevention or reduce the production of wastewater, 2) treat for reuse and 3) validation of self-purification capacity of the water body and compare it with a conventional (centralized) strategy based on the implementation of Wastewater Treatment Plants-WWTs as the only strategy to reduce the load of incoming contamination to water bodies specifically in the upper Cauca River basin, which is the second most important river basin in Colombia, and thus contribute to the approach in the recovery

of the river, in the stretch between La Balsa and Anacaro (around 389 km). It is important to mention that there are no known studies in the context that analyze the study area with the implementation of these strategies that are in harmony with the Integrated Management of Water Resources-IWRM, which is why its study and analysis becomes an important aspect to plan in the future the improvement of the water quality of the receiving water bodies. The results of the investigation demonstrated the potential of the three-step strategy combined with the prioritization achieved greater removals of pollutant load compared to the centralized strategy, the total load was $64,65 \text{ DBO}_5 \text{ T} \cdot \text{d}^{-1}$ and $86,34 \text{ DBO}_5 \text{ T} \cdot \text{d}^{-1}$, respectively; starting from a baseline (2011) of $169.54 \text{ DBO}_5 \text{ T} \cdot \text{d}^{-1}$, reaching reductions of 63% and 54%, respectively. On the other hand, the minimum OD in the Cauca River achieved $3,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ for the unconventional (decentralized) alternative and $2,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ for the conventional alternative, with the first strategy being the largest contributor to the recovery of the Cauca River in its upper basin.

Keywords: Application of decontamination strategies, Cauca River, consumption reduction, pollution control, reuse, wastewater treatment plant.

Abreviaturas

| | |
|------------------|---|
| CINARA | Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico |
| CRC | Corporación Autónoma Regional del Cauca |
| CVC | Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca |
| DBO ₅ | Demanda Biológica de Oxígeno, medida transcurridos cinco días de reacción |
| EMCALI | Empresas Municipales de Cali |
| GIRH | Gestión Integrada del Recurso Hídrico |
| OD | Oxígeno Disuelto |
| PML | Producción más Limpia |
| PTAR | Planta de Tratamiento de Aguas Residuales |
| SSPD | Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios |

Introducción

A nivel mundial, el deterioro de la calidad del recurso hídrico se agudiza a través del tiempo debido al incremento de la población y al desarrollo limitado de planes de saneamiento básico que promuevan el uso de tecnologías limpias para asegurar la permanencia de los usos actuales hasta las generaciones futuras. Es por ello que la comunidad internacional, desde mediados del siglo XX, sitúa la problemática del agua como una prioridad, realizando diversos foros mundiales donde se han concertado criterios y estrategias para el mejoramiento del recurso hídrico a nivel mundial (Polanía J., 2014).

Entre los conceptos que surgieron entorno a la adecuada GIRH, se destaca el desarrollado por los autores Nhapi y Gijzen (2005) quienes proponen un modelo integral, que considera como sistema de análisis, desde la vivienda hasta el cuerpo hídrico receptor de la contaminación. La metodología se denomina los Tres Pasos y consiste en: 1) reducción drástica del consumo de agua potable y la generación de aguas residuales 2) implementar tecnologías de tratamiento sostenibles, con procesos eficientes, en donde se optimice la calidad de sus efluentes para hacerlos aptos para el reúso, al igual que otros subproductos del tratamiento como el biogás y los biosólidos; y 3) aprovechar la capacidad de autodepuración del cuerpo de agua.

El presente estudio de caso hipotético, se desarrolló en el marco de la estrategia de los Tres Pasos, y tuvo como objetivo principal plantear un escenario en el que se compara una estrategia de control de la contaminación descentralizada, fomentando el reúso lo más cerca posible a la fuente que lo genera (considerando condiciones locales y normativas) y compararlo con las tecnologías centralizadas como lo son las comúnmente concebidas y empleadas PTARs municipales.

A lo largo del manuscrito se presentan los elementos que se tuvieron en cuenta para la construcción de cada estrategia tomando como punto de partida estudios previos en los que ha participado el Instituto Cinara de la Universidad del Valle de Cali – Colombia, además de información brindada por las autoridades ambientales y empresas proveedoras de los servicios públicos vinculadas con la zona de estudio. Posteriormente se presenta un análisis comparativo de los sistemas centralizado y descentralizado propuestos. Se toma como línea base el año 2011 dado que es aquel con mayores estudios de calidad de agua reportados para el río Cauca.

Antecedentes

Un sistema descentralizado puede consistir en sistemas de tratamiento individuales en el sitio o en combinación con instalaciones centralizadas. El grado de colectivización en cualquier etapa de los procesos de tratamiento y reutilización o dispersión estará determinado por una variedad de circunstancias locales, que incluyen la topografía, las características del sitio y del suelo, la densidad y el tipo de desarrollo, los deseos de la comunidad con respecto al uso de la tierra y sitios de reutilización potencial y / o sitios donde la descarga sería permisible (Chirisa *et al.*, 2017).

Los sistemas descentralizados pueden ser tan efectivos como los centralizados, especialmente cuando se aplican en zonas de expansión dentro del marco del desarrollo urbano planeado (Dou *et al.*, 2017). Sin embargo, en las ciudades pequeñas, la cantidad de aguas residuales generadas es muy inferior, lo que resulta en alcantarillado de un tamaño más pequeño y un menor costo de bombeo. Además, el suelo está disponible abundantemente, por lo que se prefiere en estos casos el tratamiento centralizado (Gupta, 2016).

Los sistemas municipales de tratamiento de aguas residuales en América Latina son actualmente insostenibles ya que se caracterizan por tratar elevadas cantidades de agua, generando asimismo un elevado costo en el transporte de agua residual afuera de las ciudades en donde usualmente están localizados los sistemas centralizados (Chirisa *et al.*, 2017).

Los recursos hídricos de Colombia se encuentran altamente contaminados por el vertimiento desmedido y sin control de aguas residuales domésticas a estos. En la actualidad, las soluciones de tipo convencional son las más comunes de implementar, tal es el caso de la construcción de PTARs, las cuales en nuestro país no funcionan adecuadamente y además son inversiones costosas en algunos casos según los niveles de tratamiento que sean requeridos. Según el informe técnico sobre sistemas de tratamiento de aguas residuales en Colombia de la SSPD del año 2013, solo el 26% de los municipios del país cuenta con algún sistema de tratamiento de las aguas residuales y tan solo el 18.5% de estos sistemas incluyen tratamiento de tipo secundario sin llegar en todos los casos a alcanzar las eficiencias de diseño (SSPDb, 2013).

Dado este contexto, se hace necesario estudiar otro tipo de estrategias que permitan contribuir con la recuperación de los recursos hídricos como se explica a continuación.

Metodología

Área de estudio

La zona de estudio considerada fue la cuenca alta del río Cauca en el tramo La Balsa–Anacaro, tiene una longitud aproximada de 389km, con un descenso del nivel 1.020 al 901m.s.n.m. El tramo del río Cauca entre las estaciones La Balsa y Anacaro, incluye la zona de influencia en el departamento del Valle del Cauca (jurisdicción de la CVC) y del

Departamento del Cauca (jurisdicción de la CRC). La Estación la Balsa, está ubicada 65km aguas debajo del Embalse de Salvajina, el cual entró en operación en 1985 y fue concebido con fines multipropósito (generación de energía, regulación de caudales, abastecimiento y recreación). A lo largo del río están ubicadas 15 estaciones de monitoreo que han proporcionado información de cantidad y de calidad del recurso, desde hace más de 50 años (Sandoval & Ramírez, 2007), de los cuales para este caso solo se usó caudal, DBO₅ y OD por ser indicadores específicos del nivel de contaminación en el río y capacidad de asimilación de la corriente. (ver en los anexos figura 1)

El río Cauca, en su cuenca alta en el tramo La Salvajina - Anacaro, tiene 29 subcuencas que drenan hacia el río, los mayores usos del agua en el tramo son: abastecimiento humano (es la fuente abastecedora de alrededor 2 millones (al año 2012) de habitantes de la ciudad de Cali), recreación, actividad agropecuaria, en especial para la caña de azúcar y otros cultivos semestrales, minería (principalmente explotación de materiales de arrastre), navegación de bajo calado; receptor de vertimientos generados en las distintas actividades de tipo económico y doméstico de los alcantarillados de la mayoría de los municipios vecinos a su cauce. En total son 44 municipios que descargan directamente a la cuenca alta del río Cauca. Adicionalmente, este recibe los vertimientos generados por las industrias establecidas en el norte del departamento del Cauca, la cual cuenta con la presencia de tres ingenios azucareros, fábricas de producción de Papel, fábrica de alimentos y bebidas y factorías livianas debido a la ley 218 de 1994 o Ley Páez (mediante incentivos tributarios se promovía al sector industrial, invertir en dicha zona) y el corredor industrial Cali – Yumbo (Sandoval & Ramírez, 2007; Moreno, 2014, Polanía J., 2014).

Línea base (2011)

A partir de los diagnósticos de Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV), los resultados de diferentes proyectos desarrollados por el Grupo de investigación GIRH del Instituto CINARA de la Universidad del Valle, incluyendo proyectos de investigación (Zorrilla, 2012), tesis (Suárez, 2010; Zambrano, 2012; Jaramillo, 2014; Urrego, 2014), se obtuvieron datos históricos sobre la cantidad y calidad del agua del río Cauca y los ríos tributarios, suministrados por CVC (2013) y CRC (2010 y 2013) con los cuales se realizó el presente estudio.

De igual manera para complementar la información secundaria obtenida, se consultó al sector privado (Sánchez, 2013) y al sector público (EMCALI, 2012; SSPD, 2010 y 2013a) sobre el estado y conformación de las PTARs de la región. Con esta información y el último trabajo de modelación del río Cauca desarrollado por investigadores del Instituto Cinara con el modelo Qual2K versión libre 2.07 (Urrego, 2014), se construyó la línea base de cantidad y calidad del agua río Cauca y sus principales tributarios para la condición de verano (la más crítica), definiéndose como año base, el 2011. Esta información, sirvió como punto de partida para estimar las cargas y los caudales de las estrategias analizadas, la convencional (centralizada) y la no convencional (descentralizada). Se definió el año 2023, como horizonte de 10 años con respecto a la finalización del trabajo para facilitar los cálculos de las proyecciones tanto de caudal como de carga para estos escenarios.

Se utilizaron caudales correspondientes al 85% de permanencia en el tiempo de la estación Juanchito ($133\text{m}^3\text{s}^{-1}$) y se tuvo en cuenta los vertimientos de contaminación puntuales tales como industriales, municipales y zonas rurales. Para el sector doméstico municipal se consideró la cobertura de alcantarillado de los municipios, la eficiencia de las PTARs según

su nivel de tratamiento (primario, secundario o terciario), criterios de operación y mantenimiento y el caudal tratado y no tratado. En la zona rural se asumió que no se tratan las aguas residuales porque la cobertura de tratamiento preliminar es casi nula. Igualmente, para todos los vertimientos se consideró la capacidad de autodepuración de los cuerpos hídricos confluentes al río Cauca.

Construcción de las estrategias

A partir de la revisión de literatura, se identificó la tendencia de las estrategias de control de contaminación por aguas residuales que se han aplicado tanto en la zona de estudio como a nivel mundial. En ese sentido se estructuró la estrategia centralizada y descentralizada de la siguiente manera.

Estrategia centralizada (año 2023)

Se proyectaron los caudales y cargas obtenidas en la línea base con las tasas de crecimiento determinadas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2013) al 2023, con la intención de observar las variaciones en cuanto a caudal y carga, según el crecimiento de la población de las cabeceras municipales. La producción per cápita, los caudales y cargas de las aguas residuales generadas por el sector industrial se mantuvieron. A partir de esta información estimada, se planteó que las cabeceras municipales que descargan al río Cauca en la Cuenca Alta (sin priorización), tienen planta de tratamiento de aguas residuales en funcionamiento y las que se han construido posteriores al año base, cuentan con una eficiencia de remoción en DBO_5 del 80% teniendo en cuenta lo que indicaba el Decreto 1594/1984 que regía durante el desarrollo de la investigación, actualmente este se encuentra derogado por la Resolución 0631 de 2015 (y por la serie de Compilación de Decretos Reglamentarios Únicos Decreto 1076 de 2015), la cual establece los parámetros y

los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales en términos de concentraciones y no de eficiencias de remoción.

Estrategia descentralizada (año 2023)

Con el fin de priorizar las inversiones económicas, se definieron dentro de cada subcuenca las cabeceras municipales con mayor aporte de carga al río tributario al año 2023. Se construyó una estrategia que considerara la minimización y reúso, a la cual se le calcularon los volúmenes requeridos y producidos al aplicarse diferentes medidas dentro de la vivienda, como el uso de fuentes alternas de agua, uso de aparatos de bajo consumo y cambio de hábitos. Con la intención de calcular la disminución en el consumo y por ende en el caudal producido de aguas residuales municipales.

Se asumió que se recolectan y tratan las aguas residuales por la PTAR municipal cuyo efluente podría ser dispuesto para el riego de cultivos de caña de azúcar (cultivo predominante en la zona de estudio) con una superficie cultivada de 208121ha con base en la información obtenida de CVC (2013) y CRC (2013)). Estos cultivos de caña podrían estar en el entorno a las PTARs de todas las cabeceras municipales priorizadas. Por lo tanto, las áreas potenciales de riego del cultivo predominante dentro de la zona de estudio, fueron asociadas con el caudal de producción proveniente del efluente de la PTAR (modificado por las medidas de prevención y minimización consideradas para las viviendas). Estas áreas fueron a su vez revisadas utilizando un sistema de información geográfica-SIG, para identificar la disponibilidad de área real. A partir de esta relación se calculó la carga final vertida al río Cauca.

Para estimar el área de riego se realizó el balance entre la demanda y oferta del recurso hídrico, permitiendo identificar la existencia de déficit y/o excesos de agua. Para este cálculo,

se efectuó un balance entre la demanda (evapotranspiración media mensual) y la oferta (precipitación media mensual). Se generaba déficit si la demanda superaba el aporte de la precipitación bajo el escenario considerado. Los datos de precipitación media mensual multianual y la evaporación media mensual multianual, se obtuvieron del Boletín Hidrológico de la CVC y del reporte de CENICAÑA del año (2004 al 2011), del cual se identificaron las estaciones pluviométricas cercanas a las cabeceras de los municipios (Jaramillo, 2014).

A partir del caudal de aguas residuales (estimados con la reducción que genera la minimización en la vivienda), se calculó el área potencial de riego. En este cálculo se tuvo en cuenta que las zonas de las cabeceras municipales priorizadas, tiene una pendiente favorecedora hacia el río, lo cual hace factible el riego por gravedad. Posteriormente para verificar que esta área potencial fuese realmente disponible, se superpuso con información geográfica (SIG), a través de la herramienta de ArcGis versión 10.1, encontrándose que el área potencial era igual que la real para cada uno de los casos.

Comparación de carga producida y carga vertida

Se compararon las cargas producidas y vertidas, obtenidas de las bases de datos de cada una de las estrategias (centralizada y descentralizada), construidas a partir de la línea base; mediante la estimación de las proporciones de reducción lograda por cada estrategia respecto al vertido en el tramo total al año base. Adicionalmente, se calculó la reducción total de la carga vertida con respecto a la producida en cada una de las estrategias.

Niveles de OD y DBO₅ en el tramo crítico. Aplicación del modelo QUAL2K

Para comparar el efecto de las dos estrategias en la calidad del agua del río Cauca

(centralizada y descentralizada), se evaluó el impacto en la calidad del agua del río Cauca a lo largo del tramo La Balsa - Anacaro. Para ello, se usó el modelo Qual2K versión 2.07, el cual ya estaba calibrado y verificado por Urrego (2014). Este modelo, es una herramienta que permite la modelación simultánea de cauce principal y tributarios (modelación dendrítica). La aplicación del modelo, incluyó el componente hidráulico (caudales) y la componente asociada a variables de calidad (DBO_5 , OD).

Resultados y discusión

Línea Base (2011)

Las cuencas: Palo, Guachal, Tuluá y las cabeceras municipales: Cali y Buga, fueron los principales vertimientos en cuanto a carga DBO_5 encontrados en el área de estudio, estos suman el 62% de la carga. Asimismo, dentro de la cuenca del río Palo, los municipios con mayor carga en DBO_5 son Puerto Tejada, Toribio y Corinto. Los resultados son presentados en la Tabla 1 (Ver anexos).

Estrategias aplicadas

Centralizada

La carga doméstica de las cabeceras municipales fue afectada por un porcentaje de remoción del 80% en DBO_5 porque se construirán PTARs sin priorización. La carga doméstica de la zona rural nucleada perteneciente a esta área del Cauca fue proyectada al año 2023. La carga industrial se considera para el año 2023, igual que para el año base (2011), considerando que el crecimiento de la producción de carga contaminante sería reducido con estrategias de Producción Más Limpia-PML o con nuevos sistemas de tratamiento (Ver anexos, Tabla 1).

Descentralizada

Esta estrategia propone una combinación de sistemas centralizados con el fin de adaptar las

tecnologías a las condiciones locales y de desarrollo de la zona de estudio. En los municipios priorizados a partir de la línea base (2011) (Ver Tabla 1), pertenecientes a las subcuencas con mayor aporte de carga contaminante en la cuenca alta del río Cauca, se asumió que se implementarían estrategias de minimización y reúso de agua a nivel de la vivienda, como se explica a continuación, cumpliéndose así los pasos 1 y 2 de la metodología de Nhapi & Gijzen (2005):

A nivel de vivienda: se idealiza un escenario en el que haya cambio de hábitos (menor uso de agua potable) y uso aparatos de bajo consumo (para reducción en caudales) en viviendas existentes y proyectadas o nuevas. Sistemas de captación, tratamiento y conducción para el reúso de aguas grises y aprovechamiento de aguas lluvias. Esto con base en el cumplimiento de la ley de uso eficiente del agua (Congreso de Colombia, 1997).

Para este caso de estudio, se consideraron dos tipos de vivienda: viviendas unifamiliares habitadas por 4 personas (DANE, 2005) y viviendas multifamiliares conformadas por 4 edificios de 15 apartamentos cada uno. Se asumió que el 70% de la población para el año 2023 vivirá en viviendas unifamiliares y el 30% en viviendas multifamiliares (Zambrano, 2012).

En la (Tabla 2), son presentados los volúmenes considerados por cada uso con aparatos de bajo consumo. En cuanto a cambio de hábitos se consideró la reducción del tiempo en la ducha a 5 minutos, porque se encontró que una ducha de 5 min necesita 100L con un cabezal normal y 50L con una ducha ahorradora equipada de un reductor de caudal, contra 250L que consume una ducha que no tiene un sistema aspersor (Howard & Bartram, 2003; ECODES, 2011; Fundación Aquae, 2016).

Tabla 2. Estrategia descentralizada para el río Cauca. Demanda de agua por uso doméstico

| Uso del Agua | Especificaciones | Consumo Unitario (L) | Frecuencia | Volumen (m ³ /vivienda*mes) |
|---|------------------------------------|----------------------|---------------------------------|--|
| Cocina | Lavado de utensilios | 10(b) | - | 1,20(b) |
| Lavamanos | Lavado de dientes | 1,3(a) | 3veces*d ⁻¹ (a) | 0,47 |
| | Lavado de manos | 1,3(a) | 3veces*d ⁻¹ (a) | 0,47 |
| | Lavado de cara | 1,95(a) | 1vez*d ⁻¹ (a) | 0,23 |
| | Afeitado | 1,95(a) | 1vez*d ⁻¹ (a) | 0,23 |
| Ducha | Cambio de hábito y aparato | 6,5(a) | 5 min | 3,90 |
| Lavado de ropa | Lavadora | 150(b) | 3veces*semana ⁻¹ (b) | 1,80 |
| Aseo | Pisos, baños, otros | 48(b) | 15días*mes ⁻¹ (a) | 0,72 |
| Sanitario | Inodoro de bajo consumo | 2,3(b) | 5descarga*d ⁻¹ (a) | 1,38 |
| Riego en vivienda unifamiliar | Antejardín, patio, lavado de carro | - | - | 2,00(b) |
| Riego de jardines y aseo zonas comunes en vivienda multifamiliar | Zonas comunes | 9000(b) | 1/15 1edificio (15viviendas)(b) | 0,60(b) |
| TOTAL | | | | 13,00 |

Fuentes: (a) (EMASESA, 2013) (b) (Zambrano, 2012)

Cambiando las unidades del volumen mensual se obtiene una dotación L/hab/d, la cual para esta estrategia según el tipo de vivienda es: multifamiliar 87(L/hab/d) y unifamiliar 98(L/hab/d).

En la PTAR: los municipios que fueron priorizados en la línea base y que no contaban con una PTAR, fueron construidos hipotéticamente en los escenarios. Adicionalmente, se asumió que todas las plantas de los municipios priorizados removerían mínimo el 80% de la carga en DBO₅, independientemente de las tecnologías de tratamiento que estas presentaban. Por ende, las que se encuentran en la realidad por debajo de esta eficiencia se

asume en los escenarios, que estas ya optimizaron sus procesos.

Después de la PTAR: para el cálculo del balance oferta - demanda de agua, se efectuó un balance entre la demanda (evapotranspiración media mensual) y la oferta (precipitación media mensual). Estos datos fueron ingresados a la hoja de cálculo de Jaramillo, (2014), la cual a partir del caudal de aguas residuales (estimados con la reducción que genera la minimización en la vivienda), calcula el área potencial de riego. Los resultados de las áreas a regar son presentados en la (Tabla 3).

Tabla 3. Área a regar con agua residual tratada

| Vertimiento | Cabecera Municipal | Caudal de Agua Residual (m^3s^{-1}) | Área de Riego Potencial (ha) | Área de Riego Real (ha) |
|-------------|--------------------|---|------------------------------|-------------------------|
| Río Palo | Puerto Tejada | 0,03 | 79 | 79 |
| | Toribio | 0,02 | 49 | 49 |
| | Corinto | 0,02 | 88 | 88 |
| Cali | Cali | 2,22 | 1982 | 1982 |
| Río Guachal | Palmira | 0,18 | 782 | 782 |
| | Pradera | 0,03 | 138 | 138 |
| | Candelaria | 0,01 | 36 | 36 |
| | Florida | 0,04 | 168 | 168 |
| Buga | Buga | 0,08 | 126 | 126 |
| Río Tuluá | Tuluá | 0,14 | 349 | 349 |

Comparación de estrategias

En la Tabla 1 (Anexos), se muestran tanto la condición de línea base (2011) como las bases de datos obtenidas en la construcción de ambas estrategias al año 2023. En esa tabla se puede observar, pese a que hay un incremento de las cargas producidas al 2023 debido al crecimiento de la población, las implementaciones de ambas estrategias reducen la carga final vertida; siendo la estrategia descentralizada la que genera una mayor reducción. Esta reducción corresponde al 63%, mientras que con estrategia centralizada esta reducción es solo del 54%. La estrategia descentralizada logra una mayor reducción debido al manejo de agua residual desde la fuente de generación, disminuyendo la propagación de la contaminación debido al transporte de largas distancias de agua residual. Especialmente en los municipios con mayor carga contaminante aguas arriba del punto crítico (mínimo de OD).

Otros factores que influyeron en este resultado, es la reducción del consumo de agua potable en la estrategia descentralizada, ya que el reúso permitió cubrir usos en los que no se requiere

esta calidad de agua. Por lo tanto, la generación de agua residual es mucho menor. Permitiendo afirmar que el sistema descentralizado no es solo una solución a largo plazo, sino que es más confiable en términos de impacto en la calidad de los recursos naturales y es más rentable.

Aplicación del modelo Qual2K

Los resultados del modelo descrito Qual2K y aplicado a lo largo del tramo La Balsa-Anacaro (Figura 4) (Anexo), permitieron evaluar el impacto acumulado de las estrategias centralizada y descentralizada y verificar la respuesta del río Cauca en su cuenca alta ante estas estrategias, dando cumplimiento al tercer paso de la metodología planteada por Nhapi & Gijzen (2005).

La Figura 4 (Anexos), muestra que la estrategia descentralizada eleva los niveles de oxígeno en el punto crítico, a la altura de la estación Puerto Isaacs, aproximadamente a $3,5mgOD \cdot L^{-1}$, cuando la DBO_5 en este punto es de aproximadamente $1,2mg \cdot L^{-1}$; mientras que con la estrategia centralizada se alcanza aproximadamente a $2,5 mgOD \cdot L^{-1}$, cuando la DBO_5 en este

punto es de aproximadamente $4,0\text{mg DBO}_5^*\text{L}^{-1}$. Se observa que el río obtiene una mejor respuesta ambiental con la estrategia descentralizada lo cual permitiría una mayor supervivencia de las especies en el punto crítico.

Los resultados presentados demuestran que sistemas de aguas residuales descentralizadas acompañados de la priorización de acuerdo al criterio mayor aportante de carga contaminante en cuanto a DBO_5 (que a su vez podría influenciar a la priorización de los recursos económicos), es una estrategia que puede conducir a la gestión sostenible de aguas residuales en la cuenca alta del río Cauca, la cual va acorde a la regulación de prácticas de reutilización y a la definición de criterios de calidad lo cual facilita la articulación del marco conceptual con las acciones, haciendo viable la aplicación de la metodología de los Tres Pasos en un futuro, apoyados a su vez, en otras metodologías que promuevan la aceptación de estrategias descentralizadas y generen conciencia social para la protección del ambiente.

Conclusiones

La estrategia de los tres pasos, combinada con la priorización logran mayores remociones de carga contaminante comparada con la estrategia centralizada. Considerando el aporte de carga contaminante en el tramo de estudio de $169,54 \text{ T DBO}_5^*\text{d}^{-1}$ (año base 2011), la estrategia centralizada (2023) que considera la construcción de PTARs a nivel de tratamiento secundario en todos los municipios de la cuenca redujo el aporte de carga contaminante a $86,34 \text{ T DBO}_5^*\text{d}^{-1}$. Mientras que la aplicación de la estrategia descentralizada, también al año 2023 (considerando minimización, reúso, PTARs en cabeceras municipales y cuencas priorizadas) descarga al río Cauca una carga de solo $64,65 \text{ T DBO}_5^*\text{d}^{-1}$ logrando reducciones de 54% y 63% respectivamente.

Para lograr una eficiente recuperación de la calidad del río Cauca en el tramo La Balsa–Anacaro se requiere cambiar la estrategia convencional de “solución al final del tubo” por estrategias que involucren los conceptos de PML aplicadas al manejo del recurso hídrico: prevención y minimización, tratamiento para el reúso de los efluentes tratados en el sector agrícola, considerando la capacidad de autodepuración del cuerpo hídrico. Esto se evidenció en la modelación del parámetro de OD mínimo, puesto que para la opción centralizada (año 2023) se alcanzó un OD mínimo en el punto crítico del tramo La Balsa–Anacaro de $2,5\text{mg}^*\text{L}^{-1}$, mientras que para la alternativa descentralizada el valor de OD mínimo simulado, para el año 2023 fue de $3,5\text{mg}^*\text{L}^{-1}$, en el punto crítico.

Los factores más influyentes que permitieron la reducción de carga afluente al río en el tramo La Balsa–Anacaro, son la eliminación del manejo de las aguas residuales tan cerca de la fuente de generación como fuese posible, reduciendo la propagación de la contaminación debido al transporte de agua residual a largas distancias.

La modelación utilizada, la cual incluye análisis de tréfitico, es sumamente determinante para estudios de caso en los cuales se requiera evaluar el impacto acumulado de estrategias descentralizadas en un cuerpo hídrico principal. Por ende, se recomienda utilizar esta metodología en trabajos futuros.

Agradecimientos

Se agradece al Instituto de investigación Cinara de la Universidad del Valle por proporcionar los datos y gestionar otros adicionales con los cuales se hizo posible este estudio. Agradecemos, en especial al profesor Alberto Galvis por su dirección en la aplicación de esta metodología y al ingeniero Juan Gabriel Urrego quien realizó la modelación. Se agradece también al estudiante

de doctorado Brayan Alexis Parra Orobio por el apoyo en la revisión del presente artículo.

Literatura citada

- Chirisa, I., Bandauko, E., Matamanda, A., & Mandisvika, G. (2017). Decentralized domestic wastewater systems in developing countries: The case study of harare (zimbabwe). *Applied Water Science*, 7(3), 1069-1078.
- Congreso de Colombia. (1997). "Ley 373 de 1997. Programa para el uso eficiente y ahorro del agua." Congreso de Colombia, ed., Bogotá D.C., Colombia. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=342>.
- CRC (2013). Compilado de datos proporcionados por funcionarios de la CRC. Corporación Autónoma Regional del Cauca. Formato Excel. Información privada.
- CRC (2010). Caracterización ambiental. Plan departamental de agua y saneamiento básico. CRC. Popayán.
- CVC (2013). Compilado de datos proporcionados por funcionarios de la CVC. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Formato Excel. Información privada.
- CVC (2010). Boletín Hidroclimatológico. Red de Hidroclimatología. Dirección Técnica Ambiental.
- DANE. (2005). Boletín Censo General. Bogotá, Colombia. Disponible en: <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-general-2005-1>
- DANE. (2013). Estimación y proyección de población nacional, departamental y municipal total por área 1985-2020. Consulta: junio 2013. Página web: <http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/proyecciones-de-poblacion>.
- Dou, T., Troesch, S., Petitjean, A., Gábor, P.T., & Esser, D. (2017). Wastewater and rainwater management in urban areas: A role for constructed wetlands. *Procedia Environmental Sciences*, 37, 535-541. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.036>
- ECODES. (2011). Consejos prácticos para ahorrar agua Zaragoza, España. Ecología y Desarrollo, ECODES. Consulta: noviembre 2012. Página web: http://www.consumoresponsable.org/actua/agua/agua_consejos_hogar.
- EMASESA. (2013). Cálculo del consumo individual de agua. Empresa Metropolitana de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla, S.A de España -(EMASESA). Consulta: noviembre 2013. Página web: <http://www.aguasdesevilla.com/infantil/calculo/consumo.swf>.
- EMCALI (2012). Información proporcionada por funcionarios de EMCALI. Formato Excel. Información privada.
- Fundación Aquae. (2016). Cuánta agua de consume en la ducha por minuto. Consultada en: 02, 2018. Página web: <https://www.fundacionaquae.org/blog/infografias/cuanta-agua-consume-la-ducha-minuto/>
- Gupta, N. (2016). Centralised v/s decentralised wastewater treatment solutions - a case study. *IJSRD - International Journal for Scientific Research and Development*, 4(1), 1019-1024.
- Howard, G., & Bartram, J. (2003). La cantidad de agua domiciliaria, el nivel del servicio y la salud. WHO Document Production Services.
- Jaramillo, M. F. (2014). Potencial de reúso de agua residual doméstica como estrategia para el control de la contaminación por aguas residuales en el Valle geográfico del río Cauca. Escuela de Recursos Naturales y del Medio Ambiente. Universidad del Valle. Tesis de Maestría. Cali, Colombia.
- Moreno A., G.A. (2014). Análisis ambiental de la cuenca alta del río Cauca, sus actores principales y la afectación en el suministro de agua potable para la ciudad de Santiago de Cali. ¿Qué acción tomar? Universidad ICESI. Tesis de Maestría. Cali, Colombia.
- Nhapi, I., & Gijzen, H. (2005). A 3-step strategic approach to sustainable wastewater management. *Water SA*, 31(1).
- Polanía J., A.V. (2014). Comparación de dos tipos de estrategias para el control de la contaminación por aguas residuales en la cuenca alta del río cauca. Tesis de Pregrado. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- Sánchez, F. (2013). Costos detallados de algunas PTARs diseñadas y construidas por Sánchez Ingeniería en el Valle del Cauca. Sánchez Ingeniería. Formato Excel. Información privada.

- Sandoval, M., & Ramírez, C. (2007). El río Cauca en su valle alto. Un aporte al conocimiento de uno de los ríos más importantes de Colombia. CINARA-CVC.
- SSPD (2010). Informe técnico sobre sistemas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. Línea base 2010. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Bogotá.
- SSPD (2013a). Reporte de alcantarillado. Técnico-Operativo. Plantas de tratamiento de Aguas Residuales. Sistema Único de Información de Servicios Públicos - SUI. Consulta: febrero 2013. Página web: <http://www.sui.gov.co/>.
- SSPD (2013b). Informe técnico sobre sistemas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. Consulta: febrero 2018.
- Suarez, C. (2010). Tratamiento de aguas residuales municipales en el Valle del Cauca. Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. Universidad del Valle. Maestría en Ingeniería Área de Énfasis en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cali.
- Urrego, J.G. (2014). Estudio de la capacidad de autodepuración del río Cauca en el tramo Salvajina – Anacaro utilizando modelación dendrítica de flujo permanente. (Tesis de Pregrado), Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Zambrano, D. (2012). Minimización y prevención como estrategia para el control de la contaminación por aguas residuales municipales en la zona de expansión de Cali. (Tesis de maestría), Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Zorrilla, Y. (2012). Aspectos económicos en el control de la contaminación por aguas residuales en el contexto de la gestión integrada del recurso hídrico. Universidad del Valle. Cali, Colombia.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

VALIDACIÓN DE UN INSTRUMENTO DE INVESTIGACION PARA EL DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA DE AUTOEVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL

VALIDATION OF A RESEARCH INSTRUMENT FOR THE DESIGN OF A SELF-ASSESSMENT METHODOLOGY FOR THE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM

*Héctor Andrés Hernández*¹

*Alina Eugenia Pascual Barrera*²

¹ *Doctor en Proyectos con Especialidad en Investigación, Medio Ambiente, Calidad y Prevención. Universidad Internacional Iberoamericana de México (Campeche - México). Magíster en Educación Ambiental y Desarrollo Sostenible, Universidad Santiago de Cali. Colombia.*

² *Doctora en Ciencias del Mar. (España). Docente e investigadora del Programa de Doctorado en Proyectos de la Universidad Internacional Iberoamericana de México. México.*

¹ andreshernandez19@gmail.com

² alina.pascual@unini.edu.mx

Resumen

La presente propuesta de estudio tiene como objetivo validar un instrumento de investigación con el fin de obtener los datos necesarios para generar una metodología que autoevalúe el sistema de gestión ambiental, teniendo en cuenta aquellos aspectos relacionados con la normatividad de medio ambiente. El instrumento fue sometido a consideración por expertos en el área, aplicando el método Delphi que permite determinar el coeficiente de competencia en forma y contenido. A partir de esta información se procedió a validar el instrumento y se midió la confiabilidad calculando el coeficiente de alfa de Cronbach utilizando el software especializado Statistical Product and Service Solutions (SPSS) versión 21. A partir

de estos resultados se realizó una prueba piloto a una muestra poblacional, aplicando un cuestionario el cual fue construido bajo una escala tipo Likert y para su validación se aplica el programa SPSS V. 21, con el cual se certifica que el instrumento podrá ser aplicado para analizar y determinar cuáles son las variables que harán parte de la metodología de autoevaluación del sistema de gestión ambiental.

Palabras Clave: Instrumento, Metodología, Norma ISO 14001, Sistema de Gestión Ambiental.

Abstract

The purpose of this study was to validate a research instrument in order to obtain the

necessary data for generating self-evaluation methodology for the environmental management system, taking into account those aspects related to environmental regulations. The instrument was submitted for evaluation by experts in the area, applying the Delphi method that allows determining the coefficient of competence in form and content. Based on this information, the instrument was validated and the reliability was measured by calculating the Cronbach's alpha coefficient using the specialized software Statistical Product and Service

Solutions (SPSS), version 21. From these results, a pilot test was conducted on a population sample, a questionnaire which was constructed under a Likert scale and for validation the SPSS program V. 21 was applied, which certifies that the instrument can be applied to analyze and determine which variables will be part of the self-assessment methodology of the environmental management system.

Keywords: Instrument, Environmental Management System, ISO 14001 Standard Methodology.

Introducción

El presente estudio de investigación se enmarca dentro de la temática de Medio Ambiente, donde se propone validar un instrumento de investigación tipo encuesta que servirá para el diseño de una metodología que autoevalúe el sistema de gestión ambiental bajo los requisitos de la Norma ISO 14001. La investigación realizada se ubica en el contexto colombiano, específicamente en instituciones de nivel superior en la ciudad de Bogotá que ya han implementado el sistema de gestión ambiental. Dicho instrumento será construido a partir de los aspectos relacionados con el medio ambiente y los requisitos de la Norma ISO 14001, posteriormente será sometido a un proceso de validación por medio de expertos en el tema y a partir de ahí, determinar el grado de confiabilidad, para conocer la correlación existente entre las variables de la encuesta, que en este caso serán el sistema de gestión ambiental y la autoevaluación, como parte de las acciones de cumplimiento del sistema de gestión ambiental. Por lo tanto, la validación del instrumento el cual se encuentra soportado en un fundamento bibliográfico, permitirá visualizar los valores en cada uno de los ítems descritos y considerar si cumple con las especificaciones para la formulación de la metodología de

autoevaluación del sistema de gestión ambiental. De esta manera, en la metodología se describe el proceso secuencial para la validación del instrumento y los resultados de la validación de la encuesta.

A partir de lo anterior, el objetivo de este estudio se enfoca en validar un instrumento de investigación (encuesta) para el diseño de una metodología que autoevalúe el sistema de gestión ambiental bajo los requisitos de la Norma ISO 14001 y que sirva para el ejercicio de conservar y proteger el medio ambiente.

Revisión bibliográfica

Sistema de gestión ambiental. El sistema de gestión ambiental desde al ámbito internacional, se define como aquellos elementos (procesos, procedimientos y métodos) mediante los cuales una empresa planea, ejecuta y controla las actividades que están encaminados a dar respuesta a unos objetivos planteados desde el contexto de la conservación y un manejo adecuado del medio ambiente en que se refleje el desarrollo sostenible (ICONTEC, 2014).

De acuerdo con el V Informe Nacional de Biodiversidad de Colombia de 2014, describe que

para aumentar la conciencia social sobre el cuidado de la biodiversidad y su importancia en los sectores productivos y el bienestar humano, existe en Colombia cinco factores de cambio que están afectando el medio ambiente: el cambio en el uso del suelo, la disminución, pérdida o degradación de elementos de los ecosistemas nativos y agrosistemas, las invasiones de especies no nativas, la contaminación y toxificación del agua por la actividad minera, la agricultura industrial y la ganadería y, finalmente el cambio climático (Franco y Ruiz, 2014, p.85).

Norma ISO 14001. La Norma ISO 14001 para las organizaciones se ha convertido en un pilar importante en los procesos que vienen desarrollando, en la generación de conciencia por la conservación de los recursos naturales y propender iniciativas que contribuyan al desarrollo sostenible. Iniciativa como éstas son decisiones que se toman desde la alta gerencia en la aplicación e implementación de los requisitos que exige la Norma ISO 14001. De acuerdo con las palabras de Walss (2011), "la aplicación de la Norma ISO 14001 y los recursos destinados para la protección ambiental son una inversión y no un gasto". Con esto se ha logrado que las organizaciones cambien su pensamiento y generen mayor responsabilidad social en la conservación de un ambiente sano.

Validación del instrumento de investigación. Para la validación del instrumento de investigación (encuesta), se debe proporcionar toda fiabilidad al momento de realizar su aplicabilidad. Este proceso de validación garantiza que al momento de ser aplicada la encuesta genere resultados veraces para el diseño de la metodología de autoevaluación del sistema de gestión ambiental. Por lo cual, la metodología detallada a continuación, busca guardar los pasos que establecen cada uno de los autores citados, lo que permitirá arrojar los resultados que se esperan en la investigación a desarrollar.

Metodología. Para la construcción de la encuesta se tomaron como punto de partida los aspectos relacionados con el medio ambiente y los requisitos establecidos en la Norma ISO 14001.

La metodología empleada para la validez del instrumento tomó en cuenta dos criterios: forma y contenido. Posteriormente fue sometido a validación, tomando como referencia el Método Delphi, el cual consiste en una técnica de obtención de información, basada en la consulta a expertos de un área, con el fin de obtener la opinión de consenso más fiable del grupo consultado. Estos expertos fueron sometidos individualmente a una serie de cuestionarios en profundidad que se intercalan con retroalimentación de lo expresado por el grupo y que, partiendo de una exploración abierta, tras las sucesivas devoluciones, producen una opinión que representa al grupo. (Reguant & Torrado, 2016).

Los expertos seleccionados presentan los aspectos a valorar previamente determinados por el investigador, a través de una tabla de Aspectos / Rangos de Valoración (Hurtado 2012).

Con relación al coeficiente de competencia (K) los resultados con el número de expertos con coeficiente (K) se sugiere lo siguiente:

- Coeficiente $0.8 < k < 0.9$ es excelente
- Coeficiente $0.5 < k < 0.8$ es bueno
- Coeficiente $k < 0.5$ es deficiente

Para confiabilidad se procedió a hacer uso del software especializado Statistical Product and Service Solutions (SPSS) versión 21, el cual, a través del cálculo del coeficiente de alfa de Cronbach, se pudo estimar la fiabilidad de la consistencia interna del instrumento. La medida de la fiabilidad mediante el alfa de Cronbach asume que los ítems (medidos en escala tipo Likert) miden un mismo constructo y que están altamente

correlacionados (Welch & Comer, 1988). Cuanto más cerca se encuentre el valor del alfa de Cronbach a 1 mayor es la consistencia interna de los ítems analizados. La fiabilidad de la escala debe obtenerse siempre con los datos de cada muestra para garantizar la medida fiable del constructo en la muestra concreta de investigación.

Como criterio general, George y Mallery (2003, p. 231) sugieren las recomendaciones siguientes para evaluar los coeficientes de alfa de Cronbach:

- Coeficiente alfa $>.9$ es excelente
- Coeficiente alfa $>.8$ es bueno
- Coeficiente alfa $>.7$ es aceptable
- Coeficiente alfa $>.6$ es cuestionable
- Coeficiente alfa $>.5$ es pobre
- Coeficiente alfa $<.5$ es inaceptable

Para el análisis del instrumento se tomó una muestra de diez (10) expertos, de los cuales el cien por ciento (100%) respondieron y diligenciaron el cuestionario bajo los dos criterios: forma y contenido, y se realizó una prueba piloto con una muestra poblacional.

Materiales y métodos

Instrumento de investigación. El instrumento que se utilizará para el presente estudio será una encuesta elaborada ad hoc con veintidós (22) preguntas cerradas construidas con base a los criterios del medio ambiente y los requisitos de la Norma ISO 14001 (Ver en los anexos tabla 1). La calificación será realizada con una escala tipo Likert, con opciones de respuesta de 1 a 5 para determinar el cumplimiento en mayor o menor medida de cada uno de los aspectos relacionados con el sistema de gestión ambiental.

Validez del instrumento. Para el análisis del instrumento se tomó una muestra de diez (10) expertos, de los cuales el cien por ciento (100%) respondieron y diligenciaron el cuestionario bajo los dos criterios: forma y contenido. Así mismo, para el análisis del resultado de cada uno de los ítems, se analizaron los porcentajes de cada pregunta de acuerdo a lo definido en el Método Delphi, obteniendo los siguientes resultados que se resumen en la tabla 2 y figura 1. (Ver en los anexos tabla 2)

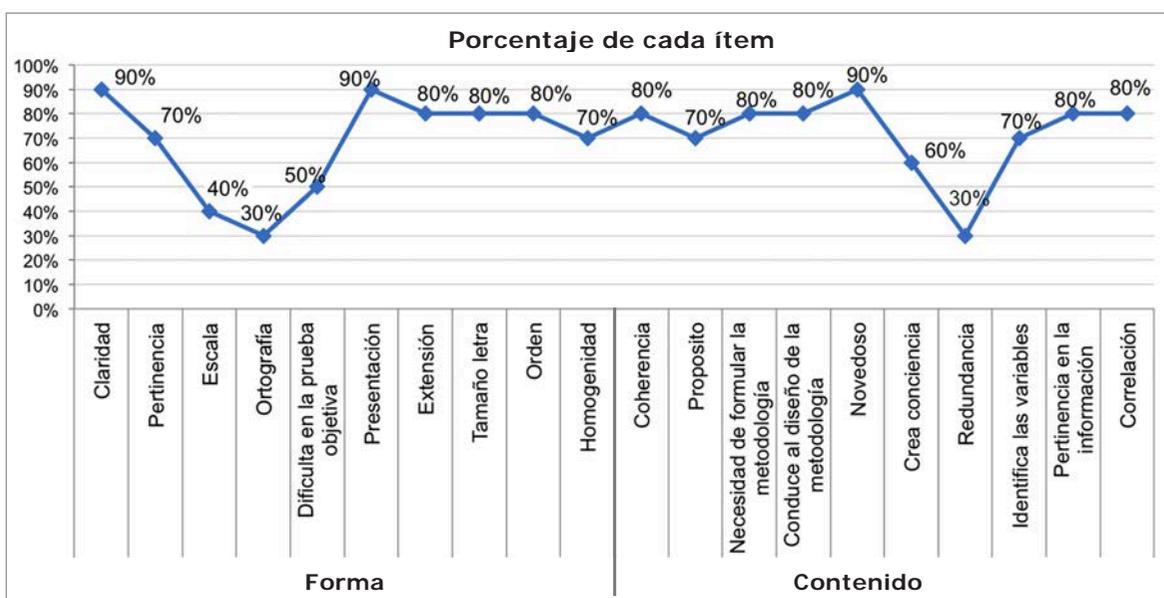


Figura 1. Porcentaje final del instrumento de forma y contenido
Fuente: elaboración propia (2018)

Por último, en la tabla 3, se presentan las recomendaciones de los expertos, los ítems más bajos de acuerdo al coeficiente de

competencia (K), los cuales se tuvieron en cuenta para el diseño final del instrumento.

Tabla 3. Recomendaciones de los expertos

| criterio | Items | Observaciones |
|------------------|-------------|--|
| Forma | Escala | Es importante revisar la escala ya que sería más pertinente para garantizar la validez y confiabilidad del instrumento, omitir de la escala de Likert "Ni de acuerdo ni en desacuerdo". Recomiendo eliminar la escala intermedia para no sesgar la respuesta "ni de acuerdo ni en desacuerdo". Identificar a qué factores hace referencia la propuesta de la metodología. |
| | Ortografía | Realizar ajustes de tildes y comas en algunas preguntas. |
| Contenido | Redundancia | En la pregunta 13 residuos sólidos: aclarar si hace referencia a la autoevaluación o la certificación u organización. En la pregunta 17 aclarar por qué la contratación ambiental tendría relación con la autoevaluación o la certificación. |

Fuente: elaboración propia (2018)

Confiabilidad del instrumento. Para obtener la fiabilidad del instrumento se realizó el análisis de los datos a partir de los criterios de forma y de contenido, luego se procedió a calcular el coeficiente de alfa de Cronbach. En la tabla 4 se presenta el resumen del proceso de los casos.

Tabla 4. Resumen del procesamiento de casos utilizado en el programa SPSS para el instrumento

| Resumen de procesamiento de casos | | | |
|--|-----------------------|----|-------|
| | | N | % |
| Casos | Válido | 10 | 100,0 |
| | Excluido ^a | 0 | 0,0 |
| | Total | 10 | 100,0 |

N=Población. a: La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.

Fuente: programa SPSS V. 21(2018)

Así mismo, en la tabla 5 se muestra que el coeficiente de alfa de Cronbach se encuentra

en un noventa por ciento (90%), que según George y Mallery (2003, p. 231) el coeficiente es excelente.

Tabla 5. Coeficiente de alfa de Cronbach

| Estadísticas de fiabilidad | |
|-----------------------------------|----------------|
| Alfa de Cronbach | N de elementos |
| 0,889 | 20 |

Fuente: programa SPSS V. 21(2018)

De acuerdo con los resultados de la confiabilidad del instrumento, se procedió a realizar una prueba piloto, la cual se aplicó a (24) personas encargadas de coordinar el sistema de gestión ambiental. Para el análisis del instrumento se procedió de igual manera a medir la fiabilidad a partir de las respuestas obtenidas, tal como se muestra en la tabla 6 con el resumen del procesamiento de los casos utilizando el SPSS V. 21.

Tabla 6. Resumen del procesamiento de casos del instrumento

| Resumen de procesamiento de casos | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|----|-------|
| | | N | % |
| Casos | Válido | 24 | 100,0 |
| | Excluido ^a | 0 | 0,0 |
| | Total | 24 | 100,0 |

N=Población. a: La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.

Fuente: programa SPSS V. 21(2018)

Seguidamente, en la tabla 7 se muestra el cálculo del coeficiente de alfa de Cronbach, haciendo uso del programa SPSS V. 21., obteniendo como resultado el ochenta y dos por ciento (82%), que según George y Mallery (2003, p. 231) el coeficiente es bueno.

Tabla 7. Coeficiente de alfa de Cronbach del instrumento

| Estadísticas de fiabilidad | |
|----------------------------|----------------|
| Alfa de Cronbach | N de elementos |
| 0,821 | 22 |

Fuente: programa SPSS V. 21(2018)

Resultados y Discusión

Para la construcción de la encuesta se tomaron, como punto de partida, las variables medio ambiente, metodología de autoevaluación y los requisitos de la Norma ISO 14001. La validez de este instrumento tipo encuesta permitió una mayor confiabilidad para la recolección de la información necesaria y determinar la correlación entre ellas, en función de cómo diseñar una metodología que permitirá autoevaluar el sistema de gestión ambiental bajo los requisitos de la norma ISO 14001. De esta manera, esta metodología será un modelo y herramienta de gestión para la organización y el cumplimiento de las metas institucionales.

Conclusiones

Los resultados producto de la aplicación de la metodología planteada para la validación y confiabilidad del instrumento de investigación permiten:

- Garantizar que el instrumento aplicado es un cuestionario que ha sido construido con su respectiva confiabilidad y validez para su aplicación.
- Realizar el respectivo análisis de correlación para determinar las variables necesarias que formarán parte de la metodología de autoevaluación del sistema de gestión ambiental.
- Con los resultados obtenidos en esta validación diseñar una metodología de autoevaluación del sistema de gestión integral.

Referencias bibliográficas

- Alonso, E., Marlín, C., Durán, S., González, M. & Viera, J.(s.f.). El juicio de expertos [presentación power point]. Recuperado de <https://es.slideshare.net/estheralfonzo100/juicio-de-expertos-9747991>
- Alshuwaikhat, H. m., & Abubakar, I. (2008). An integrated approach to achieving campus sustainability: assessment of the current campus environmental management practices. *Journal of Cleaner Production*.
- Anastasi, A. (1982). *Psychological testing*. New York: McMillan Publishing
- Barbosa, J. F. (2005). *Planteamiento metodológico para autoevaluación de las universidades*.
- Brito G., S. N. (2016). *Sistema de Gestión Ambiental ISO 14001 y su relación con las normas de responsabilidad social ISO 26000 con respecto al compromiso que toma una empresa ante el medio ambiente*.
- Duran. R., G, (2007). *Empresa y medio ambiente. Políticas de gestión ambiental*. Pág. 148
- Franco V., L., & Ruiz, J. P. (2014). V Informe de Biodiversidad. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Frederic Marimona, I. H. (Enero de 2009). ISO 9000 and ISO 14000 standards: A projection model. *Total Quality Management, 20*(1), 1-21.

- Galindo, L. (2009). La evolución de la agenda ambiental una visión global. *D - Instituto Nacional de Ecología*, 8.
- George, D., & Mallery, P. (2003). *SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference*. 11.0 update (4th ed.). Boston: Allyn & Bacon
- Hernandez, H. A. (2012). *Propuesta metodológica para el seguimiento y evaluación de la gestión ambiental*. Cali, Colombia.
- Hernández, L. P. (2007). *Desarrollo de una metodología para la valoración en el análisis del ciclo de vida aplicada a la gestión integral de residuos municipales*.
- Hurtado, S. (2012). Criterios de expertos. Su procesamiento a través del Método Delphi. Recuperado de http://www.ub.edu/histodidactica/index.php?option=com_content&view=article&id=21:criterio-de-expertos-su-procesamiento-a-traves-del-metodo-delphy&catid=11&Itemid=103
- Isaac, C., et al., (2008). *Metodología para el diagnóstico ambiental de las Instituciones de la Educación Superior en Cuba*. Memorias del Tercer Congreso Internacional por el desarrollo sostenible y el medio ambiente. Redesom. Colombia. P. 308.
- ICONTEC. (2014). *Norma Técnica Colombiana NTC ISO 14001*. Bogotá: Instituto Colombiana de Normas Técnicas.
- Martínez, E. S. (2008). *Metodología de diagnóstico para implementar un sistema de gestión ambiental ISO 14001* (Vol. 4). Acta Nova.
- Merino, G. A., Ramos, G. D., & Domínguez, D. C. (2009). *Gestión ambiental y conflicto social en América Latina*. Buenos Aires: CLACSO.
- Procuraduría Federal de protección al ambiente. (2014). *Guía de auto evaluación ambiental*. México. Obtenido de: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2014/CD001814.pdf>
- Ramírez, A. V., & Durán, P. L. (2006). Política y gestión ambiental: características y lineamientos generales. *Red Psicología y Ciencia Social*, 10.
- Reguant, M., Torrado, M. (2016). El Método Delphi. *Revista de innovación y recerca educació - REIRE*. Recuperado de <http://revistes.ub.edu/index.php/REIRE/article/download/reire2016.9.1916/18093>
- Rivas, M. (2011) Modelo de sistema de gestión ambiental para formar universidades *ambientalmente sostenibles en Colombia*. *Gestión y Ambiente*, Vol. 14, Núm. 1
- Tor, D. (2009). *Sistema integrado gestión ambiental; seguridad y salud ocupacional*. El Cid Editor. Obtenido de: <http://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2077/lib/unadsp/detail.action?docID=10317321>
- Toro Calderón, J., & Martínez Prada, R. (2013). Métodos de Evaluación de Impacto Ambiental en Colombia. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 4(2), 43-53. doi:<http://dx.doi.org/10.22490/21456453.990>
- UNAD. (2016). *Sistema Integrado Gestión*. Obtenido de <https://sig.unad.edu.co/gestion-ambiental>
- Walss Auriolos, R. (2011). *Guía práctica para la gestión ambiental*. México: McGraw-Hill Interamericana
- Welch y Comer (1988). Coeficiente de Alpha de Cronbach. Recuperado de <http://www.uv.es/~friasnav/AlfaCronbach.pdf>.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

CONTAMINACIÓN ODORÍFERA: CAUSAS, EFECTOS Y POSIBLES SOLUCIONES A UNA CONTAMINACIÓN INVISIBLE

ODOUR POLLUTION: CAUSES, EFFECTS AND POSSIBLE SOLUTIONS FOR AN IMPERCEPTIBLE POLLUTION

Jaidith Marisol Ramos Rincón¹

Angye Bermudez²

Tania Rojas³

¹ Licenciada en Química, Docente titular Universidad Distrital.

² Est. Licenciatura en Química, Universidad Distrital.

³ Est. Licenciatura en Química, Universidad Distrital.

¹ marunal2001@yahoo.com

² anyi_bear@hotmail.com

Resumen

La exposición a olores desagradables, se constituye un tipo de contaminación atmosférica proveniente del desarrollo de actividades industriales y humanas que liberan moléculas odoríferas al medio ambiente, que se caracterizan por ser volátiles, lo cual resulta en una calidad del aire no óptimo para el ser humano, afectando en algunas ocasiones su salud; el artículo presenta una revisión bibliográfica acerca de las causas de la contaminación odorífera, sus efectos y sus posibles soluciones; así como las técnicas de análisis, legislación, control y uso, abordado desde el ámbito internacional y nacional.

Palabras Clave: Contaminación odorífera, legislación, olor, salud, técnicas de análisis.

Abstract

Exposure to disgusting smells constitutes a type of atmospheric pollution from industrial and human activities. These activities release volatile odoriferous molecules into the environment that degrade air quality to levels unhealthy to humans. This paper presents a bibliographical review of the causes of odour pollution and its effects and possible mitigation; Additionally, analyses of legislation, control and use techniques, presented from an international and national regulation perspective.

Keywords: Health, legislation, odor, odoriferous pollution, analysis techniques.

Introducción

A menudo encontramos noticias, manifestaciones, quejas y demás por los malos olores que emiten las industrias, ríos, lagos, el sector agrícola, la industria de alimentos, las actividades ganaderas, mataderos y actividades de compostaje de origen antropogénico; donde no se encuentra una solución inmediata a esta problemática y por el contrario la población cercana a estas actividades evidencian molestias en la salud; donde a largo plazo afectaría el equilibrio ambiental reflejándose como uno de las tantas causas del calentamiento global. Esta clase de malos olores se puede entender como una sensación resultante de la interacción de especies químicas volátiles inhalados a través de la nariz, incluyendo compuestos de azufre (por ejemplo, sulfuros, mercaptanos), compuestos de nitrógeno (por ejemplo, amoníaco, aminas) y compuestos orgánicos volátiles (por ejemplo, ésteres, ácidos, aldehídos, cetonas, alcoholes) (Leonardos, 1969). Estos compuestos que interactúan de manera negativa con el cuerpo humano afectando la calidad de vida, conllevan a poner de manifiesto técnicas efectivas para la remoción de olores que son económicos y aptos para Colombia.

El aumento de este tipo de contaminación es considerado por las autoridades ambientales como un reto complejo de afrontar por el difícil manejo y control de esta contaminación invisible; se hace énfasis en que este tipo de contaminación tiene relación directa con la calidad del aire y por ende con la salud de los ciudadanos en términos de la proliferación de enfermedades respiratorias (IDEAM, 2014).

El presente documento pretende ofrecer una información general acerca de la contaminación odorífera, recopilar algunos estudios en la prevención y control de olores; teniendo como base los aspectos normativos y metodológicos.

Método

Para esta revisión bibliográfica se consultaron publicaciones indexadas, artículos científicos, revistas científicas y documentos gubernamentales dentro de un rango de fecha de cinco años el cual abarca desde el año 2012 hasta el 2017, los artículos que no entran en este rango son usados por su importancia en aportes a la construcción del presente artículo; la revisión gira en torno a estas cuatro preguntas:

- ¿Qué es la contaminación odorífera?
- ¿Cómo interactúa la contaminación odorífera con el cuerpo humano?
- ¿Cuáles son las causas de la contaminación odorífera?
- ¿Cómo se puede prevenir y controlar la producción de malos olores?

La búsqueda se realiza en las siguientes bases de datos digitales: CABI Forestry Compendium, Ambientalex, CABI Environmental Impact, Springer link, Science direct; Waste Management y Toxnet; revistas científicas: Biblioteca del congreso nacional de Chile, Journal of the Air Pollution Control Association, Revista 100cias@uned, National institute for public health and the environment (RIVM), Acta Neurológica Colombiana, Journal of Environmental Quality, Journal of Environmental Management, Water, Air, & Soil Pollution, Environmental Science and Pollution Research, American Society of Agricultural and Biological Engineers, Journal of Hazardous Materials, Environmental Research, Front. Environ. Sci. Eng, Chemosphere y documentos de tipo gubernamental del Ministerio de Salud de Colombia, de la Organización Panamericana de la Salud, del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible; entre otros.

Con base en la consulta del material ya mencionado se llevó a cabo el desarrollo del tema, con los parámetros y objetivos establecidos para esta revisión bibliográfica.

Desarrollo del tema

Según la norma UNE-EN 13725, el **olor** se define como "la propiedad organoléptica perceptible por el órgano olfativo cuando inspira sustancias volátiles" (MinSalud - OPS, 2012), por tanto, las moléculas odoríferas son susceptibles de producir un olor que son fáciles de percibir en el olfato que pueden ser agradables o desagradables (García, 2012). La percepción de olor inicia en la emisión de una determinada sustancia o mezcla de sustancias que son transportadas y diluidas en el aire resultando en la inmisión; para luego ser inhaladas por la respiración mediante el sistema olfativo, a través del cual el cerebro genera una respuesta que es la sensación de olor (Bidlingmaier & Müsken, 2007). Generalmente cuando estos olores generan desagrado, la contaminación odorífera está todavía en imprecisión, porque, aunque bien se ha constituido que se entiende por malos olores y que puede o no afectar a la comunidad en general, los olores no son algo que todas las personas perciban de la misma forma, es algo difuso e inespecífico (MinSalud - OPS, 2012).

Es necesario resaltar algunos conceptos relativos al **olor**, los cuales se mencionan a continuación: (CONAMA, 2014)

- *Olor simple o primario*: gracias a la emisión olorosa de un único compuesto determinado, el olfato percibe este de modo aislado.
- *Olor compuesto*: Se percibe gracias a la mezcla de olores primarios.
- *Cantidad de olor*: es la mayor o menor intensidad de un olor ya sea simple o compuesto, que es capaz de percibir el olfato humano.
- *Concentración de olor*: Dimensión utilizada Para caracterizar los olores con fines regulatorios.
- *Detectabilidad*: Se refiere a la concentración mínima de olor necesario para la detección por un porcentaje específico de la población objeto de investigación, intensidad de olor la que permite determinar la fuerza con la que se percibe la sensación de olor. (Ruijten et al., 2009)
- *Umbral del olor*: Concentración de olor mínima perceptible por el olfato humano.
- *Umbral de percepción de un compuesto*: es la concentración mínima de compuesto detectable por el olfato humano, aunque no sea posible su identificación.
- *Umbral de identificación*: de un compuesto es la concentración mínima de un compuesto con la que es posible su identificación.
- *Umbral de exposición*: la concentración y el tiempo de exposición al cual se expone un individuo a agentes odoríferos puede ser causa tanto de molestias olfativas como de molestias en la salud, llegando a casos extremos como la muerte.
- *Valor límite de exposición a corto término (VLE)*: valor que no se debe sobrepasar para una exposición máxima de 15 minutos. El respeto de este límite previene los riesgos de efectos tóxicos inmediatos o a corto término.
- *Valor límite de exposición media (VME)*. Se mide para una duración de 8 horas, está destinado a proteger a las personas expuestas a una larga duración. El VME se puede sobrepasar durante cortos períodos, a condición de no sobrepasar el VLE cuando éste existe (CONAMA, 2014; Rappert & Muller, 2005).
- *Unidad de olor europea*: Cantidad de sustancia odorífera que se evapora en 1m³ en gas neutro en condiciones normales dando una respuesta fisiológica. (García, 2017).

Teniendo en cuenta estos conceptos relacionados con el olor, el carácter agradable o desagradable de un olor implica una sensación subjetiva, sensación que los humanos y los animales reconocen ante la presencia de químicos contaminantes a través de la estimulación de sus órganos del olfato. Los olores pueden ser agradable (perfume, comida fresca) o desagradable (huevo podrido, aguas residuales). La reacción individual a los olores difiere con la fisiología y aspectos psicológicos. Algunas personas

pueden percibir que cierto olor es agradable, mientras que otros pueden percibirlos como desagradables (Nielsen *et al*, 1998).

Estos compuestos volátiles poseen un peso molecular relativamente bajo. Los compuestos olorosos tienen un valor umbral de olor.

En la gráfica 1 se muestra la cantidad de concentración de partículas odoríferas respecto a la exposición que se da en el ambiente.

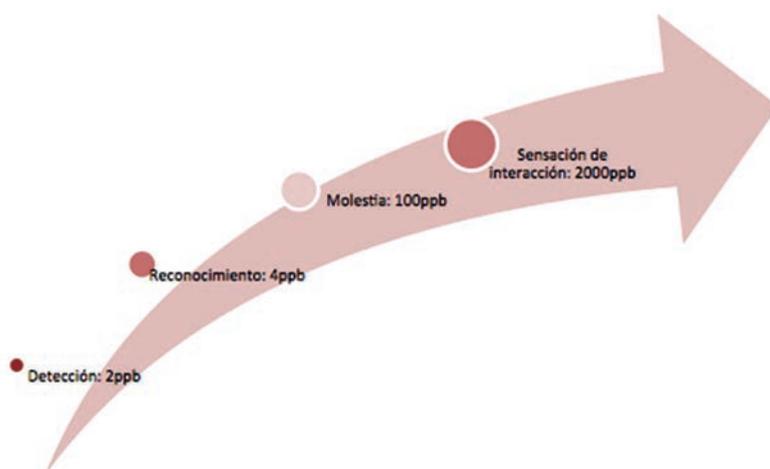


Figura 1. Grado de concentración de la contaminación odorífera.
(Centro de tecnologías limpias de la comunidad Valencia, 2008)

Estas moléculas odoríferas tienen como propiedad que son altamente volátiles por su composición ya que tienen grupos reductores y una elevada polarizabilidad. Aunque dentro de estos compuestos odoríferos se encuentran el azufre, el oxígeno y el nitrógeno; que se dan por las explotaciones industriales, agropecuarias, plantas de tratamiento de residuos y estaciones depuradoras de aguas residuales, investigaciones recientes han demostrado que la mayoría de los olores están asociados con los compuestos de azufre volátiles (VSC), especialmente el metanotiol (MT), el sulfuro de dimetilo (DMS) y el disulfuro de dimetilo (DMDS). (Tchobanoglous and Burton, 2003).

A continuación, se da una breve descripción de

las sustancias generadoras de la contaminación odorífera, con sus propiedades químicas.

Propiedades químicas asociados a los olores ofensivos:

Los compuestos descritos a continuación, están asociados con esta contaminación atmosférica.

Sulfuros: Los sulfuros son productos que se descomponen por respiración anaerobia de la materia orgánica y es inflamable que al mezclarse puede ser inflamable y explosivo, pudiendo producir gases tóxicos los cuales pueden ser sulfuro de hidrógeno o ácido sulfhídrico, sulfuro de dimetilo y dicloruro de azufre que pueden estar en un estado gaseoso o líquido (MinSalud - OPS, 2012).

Mercaptanos: Por otro lado los mercaptanos son tioles que dentro de su estructura contiene azufre que pueden darse en tres ramas como metil, etil y propil mercaptano; estos mercaptanos tienen olores fuertemente repulsivos y por sus tipos de enlaces pueden unirse con las proteínas que se tienen en la piel y producir ciertos olores fétidos algunos de ellos se encuentran como odorantes al gas natural (TOXNET, 09 de abril, 2013; TOXNET, 15 de septiembre, 2005; TOXNET, 27 de junio, 2006)

Gases derivados del nitrógeno: Dentro de esta categoría se encuentran el amoníaco, indol y la metil amina sus características es que son olores penetrantes y característicos del elemento nitrógeno, son malos conductores de energía (TOXNET, 22 de septiembre, 2016; TOXNET, 02 de enero, 2008).

Ácidos orgánicos y derivados: Estos se caracterizan por tener olores picantes, rancios y penetrantes que pueden llegar a ser muy densos y por ser ácidos pueden quemar la piel o donde fue afectado directamente por estos ácidos que aunque puede empezar a ser muy leve puede llegar a causar un gran daño como es el sistema respiratorio; dentro de estos ácidos se encuentran el acetaldehído, ácido butírico y el etil acrilato; compuestos solubles en agua (TOXNET, 14 de septiembre, 2006; TOXNET, 13 mayo, 2010; TOXNET, 14 mayo, 2015).

Compuestos aromáticos y derivados: Estos compuestos son solubles en el agua, pueden llegar a ser gases muy densos y con la reacción frente a otros químicos pueden liberar olores fuertemente contaminantes y tóxicos, aunque alguno de estos tiene un olor característico dulce puede ser contaminante con el uso de la industria (MinSalud - OPS, 2012). Dentro de estos compuestos se encuentran el benceno, clorofenol y estireno y los COVs, que son hidrocarburos que tienen bajo puntos de

ebullición (menor a 100°C) que pueden evaporarse fácilmente o se pueden encontrar a temperatura ambiente (Humane Society International, s.f).

Principales industrias generadoras de contaminación odorífera.

Los principales compuestos que generan malos olores están relacionados con compuestos azufrados entre otros; donde las actividades que generan este tipo de compuestos naturalmente van a ser foco de contaminación odorífera. Por ello se muestran las actividades que se encuentran como fuentes de contaminación que son:

Explotación de petróleo y gas natural

En muchos campos petroleros se extrae gas natural que está asociado con el petróleo. En ocasiones el gas natural es utilizado como fuente de energía en las mismas instalaciones o es procesado, y en ocasiones simplemente se quema (acelera el proceso de calentamiento global y afecta a la biodiversidad). Los principales componentes atmosféricos que se producen de la quema de gas son el dióxido de carbono, Metano, Etano, Butano, Propano, Hidrógeno, Helio y Argón, Hidrocarburos Aromáticos Volátiles, Óxido de Nitrógeno, Dióxido de Sulfuro, Ozono, Monóxido de Carbono, Halones, CFCs (Bravo, 2007).

Actividades relacionadas con productos cárnicos

- **Elaboración de productos alimenticios:** en el procesamiento de productos alimenticios se generan olores procedentes de diferentes compuestos en bajas concentraciones, donde no son considerados como amenaza a la salud pública, pero sí una molestia es por esto; que también estas industrias deben funcionar en rigor a las regulaciones debidas. Algunos compuestos

presentes en esta industria causantes de mal olor son: carbono reducido, nitrógeno y o azufre, aldehídos, cetonas, alcoholes, ácidos, amoniaco, aminas, sulfuros, entre otros; estos también pueden ser derivados de la descomposición de alimentos (Rappert & Muller, 2005).

- **Tratamiento de cuero o curtiembres:**

estas industrias están catalogadas como unas de las más sucias y contaminantes, el proceso que se lleva a cabo allí comienza teniendo el cuero crudo seguido del procesamiento del cuero para darle el acabado, la manufactura y así; de esta forma comercializar el producto, los malos olores que provienen de estas industrias están estrechamente ligados a la falta de control en las aguas residuales las cuales presentan altas concentraciones de materia orgánica provocando condiciones anaerobias en los cursos de agua, esto dado que se presenta un consumo elevado del oxígeno disuelto; además los residuos sólidos provienen en su mayoría del proceso de descarnado. En el proceso de pelambre se requiere el uso de cal y sulfuro de sodio (aporta la mayor cantidad de olores desagradables), no solo en esta etapa si no que en las demás etapas (descarne, control deficiente en la limpieza de equipos, vertimiento de efluentes líquidos y sólidos en las corrientes de agua) relacionadas con estas industrias, ayudan a que cada día la afectación sea mayor, a los alrededores donde se sitúan las curtiembres es inevitable que el número de quejas sea mayor diariamente, afectando la calidad de vida de estas comunidades y generando alteraciones en la salud, todo debido a la fuerte emanación de olores. (MinSalud - OPS, 2012; CONAMA, 2012).

- **Fabricación de abonos y compuestos orgánicos:**

Algo importante es tener en cuenta que en la ciudad se llevan cabo actividades que son propias de campos abiertos y necesitan un buen manejo de desechos, por ejemplo, funcionamiento de galpones de aves en la ciudad, esto genera mucho malestar por los olores que se desprenden.

- Las operaciones agrícolas, la práctica de ganadería intensiva, los problemas asociados con el tratamiento de los desperdicios, la ventilación de las edificaciones donde se llevan a cabo estas prácticas las cuales despiden todo tipo de malos olores relacionados con el estiércol y los biosólidos, sin contar con la distribución de fertilizantes agrícolas que acrecientan la contaminación en suelos y aguas (Rappert & Muller, 2005). Este tipo de contaminación es una problemática difícil de manejar, esto dado que es producido por varias fuentes, las cuales se deben controlar de diferente forma, esto también se ve afectado porque no solo se verá un episodio constante de olor si no que este variará de tal forma que los efectos producidos estarán relacionados con daños tanto físicos como mentales, teniendo en cuenta que un periodo expuesto a molestias por olor se relaciona con dolores de cabeza, molestias al dormir, ganas de vomitar, pérdida del deseo de comer etc. (Canales, Borquez, & Vega, 2007).

A continuación, se muestra en la tabla 1 una relación entre los principales compuestos generadores de malos olores y las industrias productoras de estos.

Tabla 1. Industrias productoras de malos olores. Tomado de (Baena & Hernández, s.f)

| Componente Oloroso | Actividades industriales que los generan |
|--|--|
| Sulfura de hidrogeno | Papeleras, refinerías, industrias y actividades agrarias, vertederos, depuradoras. |
| Mercaptanos | Papeleras, refinerías, industrias y actividades agrarias, vertederos, depuradoras. |
| Sulfuro de metilo y sulfuro de dimetilo | Papeleras. |
| Amoníaco | Refinerías, fábricas de fertilizantes, industrias y actividades agrarias, vertederos y depuradoras |
| Dióxido de azufre | Refinerías, centrales térmicas, calderas. |
| Óxidos de nitrógeno Y Urea | Fábricas de fertilizantes. |
| Aldehídos | Fábricas de fertilizantes, tratamientos de metales. |
| Aminas | Industrias agroalimentarias, vertederos, depuradoras |

Fuente: Baena & Hernández, (s.f)

Efectos en la salud humana

Según la OMS un mal efecto en la salud es cualquier experiencia que provoque malestar a nivel, tanto físico como emocional o mental, desde este punto de vista sin duda la contaminación odorífera genera molestias en la salud, las personas que se encuentran cercanas al desarrollo de actividades generadoras de malos olores, padecen insomnio, mal humor, dolor de cabeza, irritación en mucosa, sobre todo la tendencia a desarrollar situaciones de estrés, (Valencia, 2008) náuseas, vómitos, reacciones aparentemente neurotóxicas; tales como comportamiento evasivo, pérdidas de memoria o problemas de concentración, interacciones con otros sistemas sensoriales o biológicos que provocan cambios de hipersensibilidad y cambios en las pautas de respiración (Subils, s.f). Estos efectos se dan porque al ser captadas las sustancias odoríferas del medio ambiente por vía nasal o bucal transportadas a la mucosa olfatoria, donde se reciben y posteriormente se traducen en señales eléctricas; (Cantillo, 2016) el tracto respiratorio incluye una reducción del volumen del aire inhalado, contracción de la laringe y los bronquios; mayor secreción de

hormonas de estrés, presión sanguínea elevada o un flujo sanguíneo menor en los pulmones (Humane Society International, s.f).

Los olores son señal del problema que producen respuestas en las personas, ya que actúan sobre el sistema nervioso central o periférico (Gómez, 2015) y están relacionados sobre todo con la parte emocional, con los recuerdos y el humor. Es por esto que un olor agradable puede producir sensación de bienestar, y un mal olor puede producir dolor de cabeza, en ocasiones, náuseas ronquera y por supuesto una alteración en el estado de ánimo (Schiffman, 2005). Estas molestias como se mencionó anteriormente que son efectos negativos físicos y mentales se ha demostrado que si bien los malos olores no producen la muerte si producen graves daños, como la pérdida del sentido del olfato limitando a la persona a una vida sin olores, sin algunos recuerdos y en muchos casos sin sabores entre otras consecuencias de gran preocupación, (Gómez, 2015) puesto que el olfato y el gusto son complementarios. En la figura 2 se muestra una relación entre causas, efectos y legislación de la contaminación odorífera.

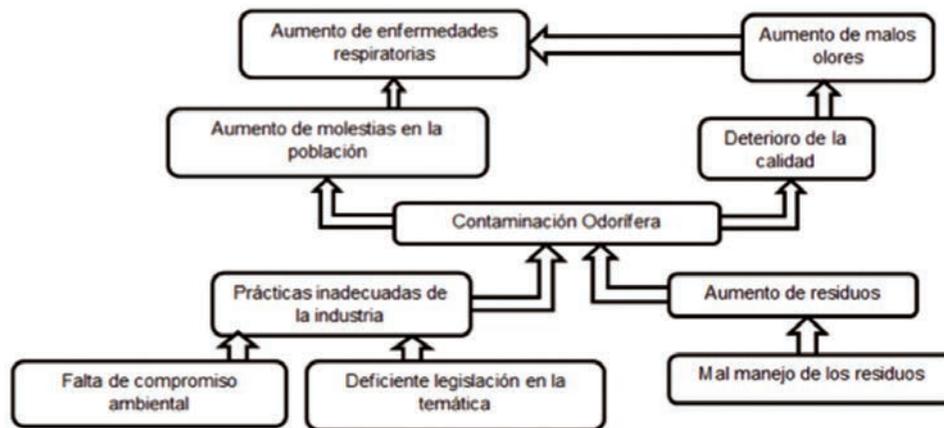


Figura 2. Problemática contaminación odorífera. (Elaboración propia)

Técnicas de análisis de olores:

La contaminación odorífera, es realmente algo problemático, ya que el umbral de olor para todas las sustancias no es el mismo, además nuestro órgano olfativo tiene una gran sensibilidad, y puede percibir de manera exagerada la concentración de alguna sustancia presente en el aire; por supuesto se sabe que es poco confiable fiarnos de nuestros sentidos como un patrón de medida, es por esto que se han desarrollado tecnologías que pueden medir con un poco más de precisión y exactitud la concentración de la sustancia que está generando malestar (Asociación Española para la calidad, s.f). A continuación se describen diferentes técnicas de análisis de olores:

Existen algunas estrategias de análisis de olores las cuales están enfocadas adecuadamente donde se usan técnicas de tipo sensorial y de tipo fisicoquímico. Hay métodos directos, sensoriales u olfatómétricos que involucran el uso de la nariz humana a cargo de un grupo de observadores, este método se subdivide en dos categorías: escalamiento y dilución; la primera califica un olor dentro de una clasificación de intensidad y la segunda realiza una dilución en una corriente de aire libre de olores con el fin de determinar el umbral de olor (Rappert & Muller, 2005).

También existe la olfatometría dinámica la cual es una técnica sensorial, que se lleva a cabo gracias a la intervención de personal experto (olfatómetras), mediante la utilización de un olfatómetro; este aparato funciona de tal manera que un gas neutro sirve para diluir la muestra de gas oloroso hasta una concentración que coincida con el umbral de detección, el cual se establece cuando el 50% de las personas (olfatómetras) perciben el olor de la muestra diluida (Xarxa ambiental, s.f).

Las narices electrónicas tienen unos sensores altamente sofisticados, que tienen la capacidad de captar las sustancias olorosas y relacionarlas con unos patrones ya registrados en sus bases de datos, dar una respuesta muy aproximada de que clase de sustancia produce el mal olor y en que concentración está presente en el medio; estas narices con sus sensores actúan como un entramado de nervios que al relacionar las diferentes evaluaciones de cada sensor responde acerca de lo que ha captado y analizado (García, 2012).

Otros instrumentos para evaluar los malos olores son: tablas FIDO, mediciones de campo, nomogramas, quejas, modelización; estas herramientas son estudios que se hacen directamente con la población afectada, buscando

encuestar para determinar el tiempo en el cual se presenta el mal olor, que tipo de olor, de que manera les afecta y si es realmente desagradable y/o fuente de enfermedades (Asociación Española para la calidad, s.f).

Los métodos indirectos son métodos instrumentales como por ejemplo la cromatografía de gases; estas técnicas dan razón de las concentraciones de los compuestos presentes en el aire, los cuales son identificados al ser comparados con información de sus bases de datos. Los métodos analíticos tradicionales se han utilizado para la detección de compuestos productores de olor, utilizando una combinación de la cromatografía de gases (GC) con un cierto enfoque de detección, como la detección de ionización de llama (GC / FID), fotoionización (GC / PID) o espectrometría de masas (GC / MS) (H. Skov, A. Lindskog, F. Palmgren and C. S. Christensen, (2001), X.-L. Cao and C. N. Hewitt, (1995)).

Los métodos actuales como GC-MS, (CONAMA, s.f) PID (El detector de fotoionización), IPD (detector fotoacústico infrarrojo) entre otros; permite tener información de la composición real de los gases en el aire, pero no de la percepción humana del mismo.

A partir de estos instrumentos se puede acoplar a un modelo matemático donde calcula las emisiones de olores, su composición, impacto del olor entre otras. Este modelo es aplicado en vertederos para así conocer todo lo mencionado anteriormente, localizar los más contaminantes y así dar solución a esta polución en el aire; llamado modelo de dispersión gaussiana (Bofeng, 2015).

Remoción de los contaminantes de una emisión.

El proceso de remoción o eliminación de malos olores depende directamente del estado del

contaminante; ya sea gaseoso (se remueven por difusión hacia superficies controlables, en donde se pueden realizar reacciones químicas para transformar estos gases en productos menos nocivos) o en forma de partículas. Para llevar a cabo estos procesos existen medios de control sin dispositivos (cambio de proceso, cambio de combustible, buenas prácticas de operación, cierre de la planta); y medios de control con dispositivos (incineradores termales, absorbedores de carbón, absorbedores, condensadores, precipitadores electrostáticos, filtros, cámaras de sedimentación, ciclones) (Inche, 2004).

En el plan nacional de calidad del aire del Ecuador se presentan tres programas (control y vigilancia de calidad del aire; mejoramiento de la calidad del aire y prevención de su deterioro y medidas a ser aplicadas durante los estados de alerta), estos presentan sus respectivos proyectos donde se resalta el segundo programa, (Competencias sobre la gestión del recurso aire, Formación, capacitación e investigación en gestión de la calidad del aire integrados a las políticas nacionales de ciencia y tecnología, Implantación del programa nacional de reducción de emisiones, Producción de combustibles de mejor calidad para fuentes móviles y fijas, Sistema nacional de revisión técnica vehicular, Sistema de participación ciudadana en tema calidad del aire), que busca involucrar a todas las comunidades para que sean parte del cambio (Ministerio del Ambiente, s.f).

En cuanto a técnicas de desodorización adecuadas aparecieron; el lavado químico, adsorción y procesos biológicos (Anet, 2013). En la actualidad existen técnicas diversas para la desodorificación del aire, dentro de las cuales encontramos:

- **Tratamiento por biofiltración:** este tratamiento es un proceso ecológico, económico y robusto (Anet, 2013); estos biofiltros

tienen una capa colonizada con microorganismos capaces de degradar los malos olores provenientes de las aguas, la biomasa, el CO₂, entre otros (Anet, 2013). Estos biofiltros que son de bajo costo son eficaces, sin embargo el rendimiento del biofiltro no es uniforme, y está influenciado por varios parámetros de diseño y operación, tal como composición de gas, material de empaquetado, humedad, temperatura, pH, caída de presión y residencia de gas (Vieira, 2016); ésta técnica es aceptada por ser una tecnología eficiente y limpia, la cual no utiliza sustancias químicas, evitando así la generación de residuos peligrosos difíciles de ser tratados (Gutiérrez, 2008); dentro de los materiales de bajo costo usados para biofiltración se pueden mencionar los siguientes: la fibra de coco, turba fibrosa, brezo, turba y brezo, turba granulada, astillas de madera, barks, abono compostado, carbón activado, esquistos expandidos, pouzzolane, siendo el material más eficiente y viable las astillas de madera en aspectos económicos, físico-químicos y biológicos (Anet, 2013).

- También se encuentra un biofiltro móvil diseñado en dos etapas una con material de cedro y la otra parte con astillas de madera; material que se encuentran en cualquier país, estos tienen la capacidad de almacenamiento de agua, porosidad entre otros aspectos físicos; llamados chips WC; estos muestran que reducen el 51%, 83% y 41%; el olor, el H₂S y el NH₃, respectivamente (Chen, 2012).
- **Fotocatalizadores:** este tratamiento ha sido validado como una tecnología prometedora para la eliminación de compuestos orgánicos volátiles odoríferos tales como: H₂S, mezcla de compuestos orgánicos volátiles (butanona, tolueno y α-pineno), tricloroetileno, mezcla de tolueno, mezcla de etanotiol,

disulfuro de dimetilo y tioanisol; con biofiltros y percoladores (BFT) que se combinan con fotocatalizadores; ya que existen sustancias que no pueden ser degradadas de forma biológica, esta integración produce la oxidación de compuestos que posteriormente son fácilmente biodegradables (Lia, 2013).

- **Tecnología de Fitorremediación:** este tratamiento es usado para la eliminación de olores de trietilamina, presentes en el pescado, aguas residuales, residuos de vertedero, cría de ganado, estiércol de cerdo e instalaciones de compostaje y eliminación de compuestos orgánicos volátiles (COV) tales como BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno), amoníaco, formaldehído, etc; por las plantas crasuláceas (CAM metabolismo ácido de las crasuláceas) y *Pterocarpus indicus* (C3) (Phattara, 2015).
- **Tratamiento de enmascaramiento:** Esta técnica consiste en usar otro componente odorífero de olor agradable al ser humano para así enmascarar el olor desagradable; (Grupo PPA, s.f) aunque a menudo no causa contaminantes secundarios; no resuelve las emisiones de contaminantes en el aire utilizándose solo en caso de emergencia (Lewkowska, 2016).
- **Tratamiento por aditivo microbiano mineral:** Este tratamiento está dado para la reducción de amoníaco, aminas y H₂S de las emisiones de estiércol de vaca, este aditivo microbiano está compuesto por polvo mineral que es una perlita-bentonita y polvo de bacterias; pero siendo este tratamiento muy costoso por el tiempo, química a utilizar y que solamente sirve para la eliminación de estos olores (Kajetan, 2017).

Marco legal

Dentro de la gráfica 3 se logra apreciar los parámetros FIDO, los cuales proporcionan

criterios para comprender el marco legal a nivel mundial en Colombia (tabla 2) y realizar una evaluación en cuanto a los enfoques relacionados a la contaminación odorífera.

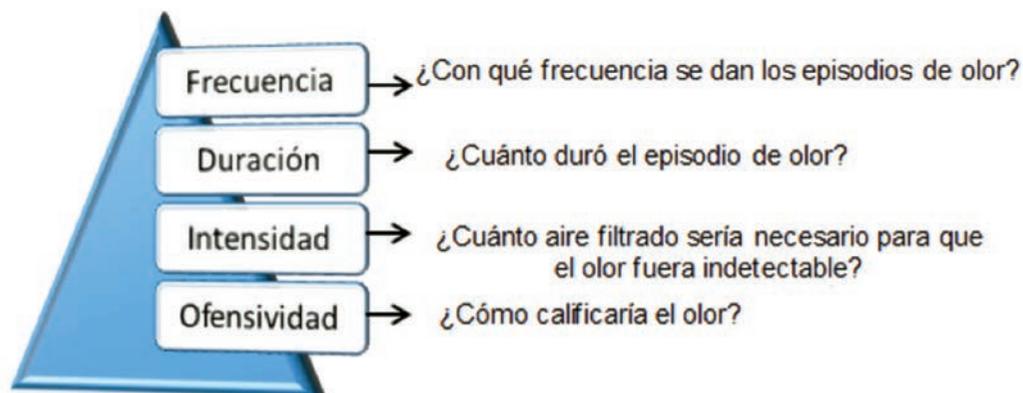


Figura 3. Evaluación de molestias por malos olores.
Fuente: (Kajetan S, 2017).

Tabla 2. Ejemplos del marco legal con el FIDOL.

| Enfoque | Descripción | Jurisdicción |
|--|---|--|
| estándar máximo impacto | Olor | jurisdicciones de Canadá, Chile, Colombia, jurisdicciones de Estados Unidos, Panamá, Paraná (Brasil), Reino Unido, Alemania, Austria, Lombardía (Italia), Puglia (Italia), Irlanda, Países Bajos, Israel, Taiwán, Hong Kong, Corea del Sur, China, Japón, las jurisdicciones de Australia, Hungría, las jurisdicciones belgas, Cataluña (España), Dinamarca, las jurisdicciones belgas, Francia, Austria |
| | productos químicos individuales relacionados olor | jurisdicciones de Canadá, Colombia, jurisdicciones de Estados Unidos, Sao Paulo (Brasil), Panamá, Corea del Sur, Japón, las jurisdicciones australianas, las jurisdicciones de Australia, Dinamarca, Puglia (Italia) |
| estándar de distancia de separación | Variable | jurisdicciones de Estados Unidos, Paraná (Brasil), Austria, Países Bajos, las jurisdicciones australianas, las jurisdicciones belgas, Dinamarca, las jurisdicciones belgas, las jurisdicciones de Canadá, Austria, Alemania |
| | Fijo | jurisdicciones canadienses, jurisdicciones de Estados Unidos, Holanda, Hong Kong, jurisdicciones de Australia, Alemania |
| norma de emisión máximo | Olor | Francia, jurisdicciones italianas, China, las jurisdicciones de Australia, Dinamarca |
| | productos químicos individuales relacionados olor | Chile, Panamá, Brasil (federal), Puglia (Italia), China, Japón, las jurisdicciones australianas |
| estándar molestia máximo | Número de quejas | jurisdicciones de Estados Unidos, Wellington (Nueva Zelanda) |
| | nivel de molestia | Nueva Zelanda |
| estándar de la tecnología | MURCIÉLAGO | países europeos, las jurisdicciones canadienses, jurisdicciones de Estados Unidos, las jurisdicciones de Australia, Nueva Zelanda, Arabia Saudí, Colombia |

Tomado de Brancher (2017)

Dentro de esta tabla se logra apreciar que Colombia hace parte de diferentes enfoques respecto a sus avances tecnológicos y científicos, aunque no tiene jurisdicción para la emisión máxima de olor, estándar de molestia **máximo y estándar de distancia de separación**, que son necesarias para la mayor regulación en las actividades antropogénicas donde sus productos son la principal causa de enfermedades en la salud humana, se debe empezar a mejorar estos tipos de estándares que son los más importantes en la industria Colombiana y mejorar el marco legal, ya que este tipo de contaminación es invisible ante la sociedad.

Para realizar una queja por olores ofensivos se tienen en cuenta dos aspectos o condiciones; debe existir una fuente generadora de olores y debe haber un receptor o indicador de la presencia de olores ofensivos, que en este caso es el que presenta una queja formal.

La presentación de la queja es fundamental para el tratamiento de la problemática, una vez exista una queja, se evalúa; el procedimiento de evaluación se realiza con base en encuestas estandarizadas en la norma técnica NTC 6012-11 *"Efectos y evaluación de los olores. Evaluación sicométrica de las molestias por olores. Cuestionarios"*; en continuidad a ello las autoridades ambientales competentes realiza una planeación para la reducción de los olores ofensivos, posteriormente se realiza una medición con el fin de verificar una reducción del impacto ambiental por olores ofensivos.

La NTC 6012-1 es la norma técnica colombiana donde se describen los métodos de investigación ya estandarizados para determinar el potencial de molestia que pueden causar los olores ofensivos, como ya se mencionó es importante que la comunidad en general se entere que las entidades gubernamentales tienen herramientas para solucionar las molestias

que puedan sentir causadas por olores desagradables, pero que para esto el receptor, que en este caso son los ciudadanos afectados, deben quejarse para que los entes encargados y capacitados en este oficio puedan evaluar la situación. Teniendo en cuenta lo anterior la NTC 6012-1 establece que posterior a la queja se deberá establecer el tipo de método, este puede ser directo, indirecto o por criterios de aceptación o tolerancia, después deberá planificar una encuesta y medir la molestia, esta molestia se mide seleccionando el área, recolectando datos los cuales incluyen tomas de muestras, contacto con los encuestados, análisis de laboratorio, reportes, entre otros; los reportes deben ser analizados y comparados con base en las cantidades permitidas de sustancias en el ambiente, las cuales ya están fijadas en la norma, la puntualidad de cada procedimiento se encuentra en la NTC 6012-1, si se requiere más información de los métodos y procedimientos (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2014).

Conclusiones

La contaminación odorífera constituye una problemática seria en salud pública, aunque no se vea de esta manera; en diferentes fuentes se ha encontrado que los olores ofensivos sí generan enfermedades a las personas tales como irritación de garganta, pérdida del apetito, náuseas, dolor de cabeza, estados de ánimo afectados, etc.; teniendo en cuenta lo anterior, es de considerarse como una situación por la cual el estado debe preocuparse y velar, atender las quejas y buscar soluciones prontas a las inconformidades de la o las comunidades afectadas, no es sano ni agradable vivir constantemente respirando un aire de mala calidad, en condiciones tal vez de insalubridad y molestia; es por esto que las personas deben enterarse de la normativa que rige el funcionamiento de las industrias y el desarrollo de actividades generadoras de

desechos y de malos olores, y de la normativa que existe en pro del bienestar de los ciudadanos comunes, y mejorar su calidad de vida entendiendo que es deber de las autoridades ambientales velar por la salud física y mental de cada uno de los ciudadanos que se ven amenazados por este tipo de contaminación. En la actualidad existe tecnología muy sofisticada para la detección de malos olores y sobre todo existe la obligación del estudio a fondo de la problemática, en este momento no hay razón para pasar por alto anomalías ambientales de este tipo, que bien pueden empezar con el síntoma de un olor ofensivo pero que a profundidad pueden evitar problemas que amenacen la salud y los recursos naturales. Se plantean diferentes métodos de remoción de olores que son económicos, aplicables en las industrias generadoras de olores y viables en Colombia, por ejemplo, el tratamiento por biofiltración, fotocatalizadores entre otros. A pesar que los factores FIDOL dentro de su gran mayoría se aplican en Colombia, se encuentra un vacío para las normas de emisión máximo y estándar de separación que son importantes y unas de las mayormente a considerar ya que siendo una contaminación invisible podemos estar en un alto rango de contaminación; aunque el marco legal de nuestro país que contempla el tratamiento de olores ofensivos es útil y claro es posible mejorarlo y aplicarlo en todas las situaciones que sea necesario, teniendo como parámetro otros lugares del mundo que han desarrollado proyectos muy interesantes con muy buenos resultados; todo esto con el fin de brindar una mejor calidad de vida a todos los ciudadanos de nuestro país; también dentro de este artículo se proporciona al ciudadano conocimiento acerca de los olores que se pueden percibir y las industrias generadoras de ello para poner un alto a una contaminación tan grave y perjudicial para la vida humana.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por el aval y respaldo en esta producción académica y en especial a la profesora Marisol Ramos por su constante apoyo y paciencia durante este proceso.

Literatura citada

- Asociación Española para la Calidad. (s.f). *Contaminación odorífera*. Recuperado de https://www.aec.es/c/document_library/get_file?uuid=3527643c-0525-42fd-9943-1c881254e44f&groupId=10128
- Baena, S. & Hernández, L. (s.f). Análisis de la regulación colombiana en materia de olores ofensivos. Recuperado de <http://repository.udem.edu.co:8080/bitstream/handle/11407/1154/An%C3%A1lisis%20de%20la%20regulaci%C3%B3n%20colombiana%20en%20materia%20de%20olores%20ofensivos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Benoît, A. (2013). Characterization and Selection of Packing Materials for Biofiltration of Rendering Odorous Emissions. *Water, Air, & Soil Pollution*, 1-13.
- Benoît, A. (2013). Characterization of gaseous odorous emissions from a rendering plant by GC/MS and treatment by biofiltration. *Journal of Environmental Management*, 981-987.
- Bidlingmaier, W. & Müsken, J. (2007). Chapter 11 Odor emissions from composting plants. *Waste Management Series Elsevier.*, Volumen 8 215-324.
- Bofeng, C. (2015). Evaluating the impact of odors from the 1955 landfills in China using a bottom-up approach. *Journal of Environmental Management*, 206-214.
- Brancher, M. (2017). A review of odour impact criteria in selected countries around the world. *Chemosphere*, 1531-1570.
- Bravo, E. (mayo, 2007). *Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad*. Recuperado de https://www.inredh.org/archivos/documentos_ambiental/impactos_explotacion_petrolera_esp.pdf
- Canales, P., Borquez, B., & Vega, J. (2007). La contaminación por olores y su regulación en la legislación nacional y extranjera (España y Alemania). *Biblioteca del congreso nacional de Chile*.

- Cantillo, G. (2016). Disfunción olfatoria pos-trauma encéfalo craneano y su impacto en la calidad de vida: revisión de tema. *Acta Neurológica Colombiana*, 161-168.
- Centro de tecnologías limpias de la comunidad Valenciana. (2008). Guía técnica para la gestión de emisiones odoríferas. España.
- CONAMA (2012). *Contaminación odorífera, documento del grupo de trabajo de Conama*. Recuperado de http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama11/GTs%202010/6_final.pdf.
- CONAMA (2014). *Contaminación odorífera*. Recuperado de http://www.malosolores.org/pdf/propia/GT-11_doc_preliminar.pdf
- CONAMA. (s.f). *Contaminación odorífera. Estrategias de análisis de olores*.
- Chen, S. (2012). A Two-Stage Wood Chip-Based Biofilter System to Mitigate Odors from a Deep-Pit Swine Building. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 893-901.
- García, A. I. (2012). Contaminación odorífera. Estrategias de análisis de olores. *Revista 100cias@uned*, 92-100.
- García, A. R. (2017). *Contaminación atmosférica por olores: unas técnicas de medida avanzadas y una legislación específica inexistente*. Recuperado de http://blog.condorchem.com/pdf/ponencia_olores_conama9.pdf
- Gómez, E. (2015). *Olor y derecho*. San Vicente del Raspeig: Universidad de Alicante.
- Gutiérrez, A. (2008). *Efecto de la carga másica y altura del medio filtrante sobre la remoción de h2s mediante biofiltración*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México.
- H. Skov, A. Lindskog, F. Palmgren and C. S. Christensen, (2001). An overview of commonly used methods for measuring benzene in ambient air, *Atmospheric Environment* 35 141-148.
- Humane Society International. (s.f). *Los impactos sobre la salud humana de olores emitidos por instalaciones de cría intensiva de animales de producción*. Recuperado de <http://www.hsi.org/assets/pdfs/hsi-fa-white-papers/odors-spanish.pdf>
- Inche, J. (2004). *Gestión de la calidad del aire: Causas, efectos y soluciones*. Lima: Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial-UNMSM, 89-92.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (2014). *Calidad del aire*. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>
- Kajetan, S. (2017). Odour reducing microbial-mineral additive for poultry manure treatment. *Front. Environ. Sci. Eng*, 1-9.
- Leonardos, G. (1969). Odor threshold determinations of 53 odorant chemicals. *Air Pollut. Control Assoc.* 19,, 91-95.
- Lewkowska, P. (2016). Characteristics of odors emitted from municipal wastewater treatment plant and methods for their identification and deodorization techniques. *Environmental Research*, 573-586.
- Lia, Z. (2013). Pollution profiles, health risk of VOCs and biohazards emitted from municipal solid waste transfer station and elimination by an integrated biological-photocatalytic flow system: A pilot-scale investigation. *Journal of Hazardous Materials*, 147-154.
- Magnun, M. & Vieira, W. (2016). Pragmatic evaluation of odour emissions from a rendering plant. *Environmental Science and Pollution Research*, 115-124.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2014). *Protocolo para el monitoreo, control y vigilancia de olores ofensivos*. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/Atencion_y_participacion_al_ciudadano/Consulta_Publica/Protocolo_para_el_Monitoreo_Control_y_Vigilancia_de_Olores_Ofensiv.pdf
- Ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible. (12 noviembre, de 2013). *Resolución N° 1541*. Recuperado de http://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/Salud_Publica/Ano_2014/Residuos-solidos/resolucion%201541%20de%202013%20-%20Olores.pdf
- Ministerio de salud y protección social y Organización panamericana de la salud. (2012). *Lineamientos para la vigilancia sanitaria y ambiental de los olores ofensivos en la salud y calidad de vida de las comunidades expuestas en áreas urbanas*. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/impacto-olores-ofensivos-salud.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (s.f). *Plan nacional de la calidad del aire*. Recuperado de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf>

- Nielsen, P.H., Raunkjaer, K., Hvitved-Jacobsen, T.H., (1998). Sulfide production and wastewater quality in pressure mains. *Water Sci. Technol.* 37, 97 -104.
- Phattara, P. (2015). Removal of trimethylamine (fishy odor) by C3 and CAM plants. *Environmental Science and Pollution Research*, 543-557.
- Productos plásticos anticorrosivos Grupo PPA. (s.f). *Instalaciones de desodorización ambiental*. Recuperado de <http://grupoppa.es/pdf/INST%20DESODORIZACIONES.pdf>
- Rappert, S. & Muller, R. (2005). Odor compounds in waste gas emissions from agricultural operations and food industries. *Waste Management*, 887-907.
- Ruijten, M. Van Doorn, R. & Van Harreveld, A. (2009). Assessment of Odour Annoyance in Chemical Emergency Management. *National Institute for Public Health and Environment*.
- Schiffman, M. (2005). Science of odor as a potential health issue. *Journal of Environmental Quality*, 129-138.
- Subils, J. (s.f). *NTP 358: Olores: un factor de calidad y confort en ambientes interiores*. Recuperado de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_358.pdf
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, fourth ed. Tata McGraw-Hill, New Delhi.
- TOXNET (14 febrero, 2003). *Indole*. [Base de datos]. Recuperado de <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?./temp/~6UFNs4:1>
- TOXNET (15 de septiembre, 2005). *Ethyl mercaptan*. [Base de datos]. Recuperado de <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?./temp/~Eyv42F:1>
- TOXNET (14 de septiembre, 2006). *Butyric acid*. [Base de datos]. Recuperado de <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?./temp/~thzMJd:1>
- TOXNET (27 de junio, 2006). *Propyl mercaptan*. [Base de datos]. Recuperado de <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?./temp/~LRZrcN:1>
- TOXNET (02 de enero, 2008). *Methylamine*. [Base de datos]. Recuperado de <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?./temp/~7f9msO:3>
- TOXNET (21 de enero, 2009). *Chlorophenol*. [Base de datos]. Recuperado de <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?./temp/~KsKwG9:1>
- TOXNET (21 de enero, 2010). *Dimethyl sulfide*. [Base de datos]. Recuperado de <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?./temp/~W2bCTf:1>
- TOXNET (13 mayo, 2010). *Ethyl acrylate*. [Base de datos]. Recuperado de <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?./temp/~eEVfnJ:1>
- TOXNET (13 de septiembre, 2012). *Hydrogen Sulfide*. [Base de datos]. Recuperado de <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?./temp/~jYYkVj:3>
- TOXNET (09 de abril, 2013). *Methyl mercaptan*. [Base de datos]. Recuperado de <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?./temp/~TA2kiC:1>
- TOXNET (15 mayo, 2014). *Benzene*. [Base de datos]. Recuperado de <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?./temp/~M5d2ed:1>
- TOXNET (04 de septiembre, 2014). *Styrene*. [Base de datos]. Recuperado de <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?./temp/~EwnzeK:1>
- TOXNET (14 mayo, 2015). *Acetaldehyde*. [Base de datos]. Recuperado de <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?./temp/~qgb7AD:1>
- TOXNET (22 de septiembre, 2016). *Ammonia*. [Base de datos]. Recuperado de <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?./temp/~VctMjq:1>
- Universidad Politecnica de Valencia, (2008). *Guía técnica para la gestión de las emisiones odoríferas generadas por las explotaciones ganaderas intensivas*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.
- Xarxa ambiental, (s.f). *Guía de tecnologías limpias en el ámbito de olores*. Recuperado de <https://www.malosolores.org/pdf/cliente/guia-tecnologias-limpias-olores.pdf>
- X.-L. Cao and C. N. Hewitt, (1995) Detection methods for the analysis of biogenic non-methane hydrocarbons in air *Journal of Chromatography A* 710 39-50

Conflicto de Intereses
Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

COMPILACIÓN Y ANÁLISIS DE DISEÑOS ARQUITECTÓNICOS CON CAVIDADES PARA INCLUIR LA FAUNA NATIVA EN LOS AMBIENTES URBANOS

COMPILATION AND ANALYSIS OF ARCHITECTURAL DESIGNS WITH CAVITIES TO INCLUDE NATIVE FAUNA IN URBAN ENVIRONMENTS

Xavier Eduardo Ruiz Cruz

Docente, Universidad del Valle, Cali Colombia.

xavierruizcruz@gmail.com

Resumen

Es un hecho que con la acelerada urbanización de la población mundial son cada vez más reducidos los espacios naturales en que viven y anidan las especies faunísticas nativas, y los espacios urbanos ofrecen cada vez menos oportunidades a estas especies para anidar en las diversas cavidades que los árboles muertos en pie y el complejo arquitectónico les brindan. Con base en esta problemática se recopilaron y compararon 33 proyectos concebidos por arquitectos de diversos países del mundo, que tienen el objetivo de propiciar la coexistencia de diversas especies en el hábitat humano, para lo cual incorporan en sus diseños no solo un complejo de cavidades con este propósito, sino que su concepción reviste características ornamentales que han probado ser muy interesantes para los urbanitas. Luego de esta revisión se decidió construir un resumen. Con base en esta revisión se decidió resumir en este artículo las características más relevantes que debe tener en cuenta el diseñador urbano que pretenda incluir las especies

nativas de fauna en un espacio construido de tal forma que no solamente cumpla este propósito, sino que el conjunto resulte atractivo paisajísticamente. Lo anterior ha sido pensado muy particularmente para Colombia, país donde parece haber un rezago frente al resto del mundo en cuanto a este tipo de propuestas, a pesar de la gran biodiversidad de la región presente en las ciudades.

Palabras clave: Aves, Arquitectura, Cavidades, Sustentabilidad Urbana.

Abstract

In fact, the accelerated urbanization of the world population and the natural spaces in which native fauna species live and nest are increasingly reduced. The urban spaces offer less and less opportunities to these species to nest in the various cavities that the standing dead trees and the architectural complex provide them. Based on this problem, 33 projects conceived by architects from different

countries of the world were collected and compared, with the aim of promoting the coexistence of diverse species in the human habitat, for which they incorporate in their designs not only a complex of cavities for this purpose, but their conception has ornamental characteristics that have proved to be very interesting for urbanites. After this revision it was decided to build an input. Based on this review, it was decided to summarize in this article the most relevant characteristics that the urban designer should take into account, who intends to

include the native species of fauna in a space constructed in such a way that not only fulfills this purpose, but also the overall result Attractive landscape. The above has been thought particularly for Colombia, a country where there seems to be a lag compared to the rest of the world in terms of this type of proposal, despite the great biodiversity of the region present in the cities.

Key words: Birds, Architecture, Cavities, Urban Sustainability.

Introducción

El tema de la fauna silvestre en la ciudad ha sido abordado reiteradamente por biólogos, ecólogos y ambientalistas, pero de un tiempo acá ha comenzado a ser también materia de interés de otros profesionales como arquitectos, urbanistas y diseñadores.

Tradicionalmente el enfoque arquitectónico urbano en relación con la fauna nativa que pueda poblar sus espacios ha sido no solo erradicarla sino cerrarle cualquier posibilidad de que pueda hallar en ellos lugar para anidar (Molina, 2011). Sin embargo, esta concepción ha experimentado un cambio en los años recientes. En tal sentido, desde comienzos del presente siglo se ha abierto paso una tendencia dentro de la arquitectura que postula una concepción constructiva en la cual puedan coexistir funcionalmente de manera cercana los urbanitas con las especies de fauna nativa.

Metodología

En la primera fase metodológica se analizó y diagnóstico la problemática que enfrentan los animales silvestres en la ciudad, particularmente en lo relacionado con la escasez de espacios para su protección y reproducción, debido a procesos de urbanización como la

eliminación de los árboles seniles o muertos en pie, con lo que se elimina este recurso en el que tradicionalmente las aves excavan sus cavidades. A este respecto, se estima que de la cantidad de cavidades disponibles en un espacio natural solo el 19% resultan aptas para las aves (Palmett, 2016); (Peña, 2016); (Salas, 1999); (Juana, 2015); (Montoya, 2016); (Lara, 2007); (Newton, 1994); (Cockle, 2010).

Identificada la problemática, en la segunda fase se propuso recopilar algunos casos representativos (en total 33) en los cuales arquitectos y diseñadores consideraron en sus creaciones la incorporación de diversos tipos de cavidades concebidas para que en ellas aniden especies de fauna nativa en el interior de las ciudades.

Posteriormente, se hizo un análisis comparativo de estos casos para buscar características relevantes en cada una de sus concepciones. La recopilación de dichos casos se hizo a partir de la información disponible en internet y en revistas especializadas en arquitectura, con anotación del respectivo país y año de publicación.

El análisis formal y funcional de los casos a partir de las variables de análisis y sus resultados se condensan en un cuadro, con el fin de que quienes diseñan y construyen la ciudad tengan un referente claro de las estrategias más usadas a nivel mundial para propiciar la coexistencia de la fauna tradicional con la población urbana.

Finalmente se presentan las conclusiones de este breve trabajo de revisión bibliográfica y análisis sobre el tema que aquí se aborda.

Los casos examinados son los siguientes:

1. Parking birds (España)
2. Torres nido para murciélagos (España)
3. Living typography (India)
4. Paredes nidales (España)
5. Arquives (Medellin)
6. Bat station (EE.UU.)
7. Bird scraper (EE.UU.)
8. Autonomieforme (Italia)
9. Zoológico vertical (Argentina)
10. Habitat wall Chicago (EE.UU.)
11. Bat cloud (EE.UU., Países Bajos)
12. Torres de agua para fauna nativa (Israel)
13. Experimental habitats for New York rooftops (EE.UU.)
14. Co-Habitat (Inglaterra)
15. Bat tower (EE.UU.)
16. Habitat wall (EE.UU.)
17. Nido de periquitos Ukumari (Pereira)
18. Cajas nido implementadas por biólogos en Univalle (Cali, Colombia)
19. Bird brick houses, en sus diferentes modelos (Standard box, Swift box, Starling box, Bat box, Owl box, Mice box) (Reino Unido)
20. Hotel de bichos (EE.UU. y Europa)
21. Two chamber Rocket box for bats (EE.UU.)
22. Wunderbugs (Italia)
23. Bird apartment (Japon)
24. Refugio de grillos (EE.UU.)

25. Brike (Francia)
26. Teja nido (Holanda)
27. Happy city Birds (Dinamarca)
28. Parque Epcot Florida (EE.UU.)
29. Torres para cigüeñas (España)
30. Árbol de Mar (EE.UU.)
31. Bat pods (EE.UU.)
32. Pest pavilion (EE.UU.)
33. Pest wall (EE.UU.)

A continuación, el cuadro resumen del análisis realizado. En él se muestra el contraste entre la forma y función de las propuestas (Anexo).

Este cuadro, como se mencionó, permite visualizar fácilmente características relevantes y contrastantes de cada uno de los casos revisados, en aspectos como: color, tamaño, altura, orientación, textura, factores disuasivos para algunas especies consideradas plaga, material, tamaño de la entrada a la cavidad, especie de interés, temperatura máxima interior alcanzada en días soleados, sistema de ventilación y desagüe, y ubicación de la entrada a las cavidades.

Resultados

El análisis formal y funcional de los casos arroja como resultado que los referentes sobre el tema empiezan a ser notorios solo a partir de 2010. Ese año es clave pues se hace clara la tendencia de diseñar para aves y murciélagos, las cuales son las principales especies objeto de interés ecológico y pedagógico, y en menor medida algunos de ellos se refieren a abejas e incluso a grillos. En 19 de las 33 propuestas examinadas tienen entre 3 y 7 metros de altura. Solo 6 propuestas son mayores de 7 metros, y de ellas dos alcanzan los 100 metros de altura.

Por países, este es el origen de las propuestas es: de España, 4; Israel, 1; Japón, 1; Francia, 1;

Dinamarca, 1; Estados Unidos, 11; Alemania, 1; India, 1; Reino Unido, 3; Italia, 1; Argentina, 1; Países Bajos, 2. Curiosamente, uno de los dos trabajos hechos en Colombia referentes a la relación hábitat humano-hábitat animal, tuvo como propósito desterrar las aves de la arquitectura.

Las texturas de los materiales usados tanto en el recubrimiento de estos elementos como en la entrada a los nichos son predominantemente lisas; en 10 propuestas la textura es rugosa. En cuanto a los materiales propuestos por los diseñadores. En 11 de ellos no fue posible identificar la textura del material. El material principal en las propuestas es la madera, aunque algunas de ellas consideran materiales como metal, concreto, ladrillo y plástico.

El tamaño de las cavidades para alojar la fauna varía sustancialmente: desde 10 centímetros las más pequeñas hasta lo que ya no podría denominarse una cavidad sino un habitáculo de gran tamaño, pues en ocasiones está pensado con un área de hasta 25 metros, con el fin de alojar a cientos de animales. En cuanto al tamaño de la entrada a las cavidades esta fue en promedio de 5 centímetros en todas las propuestas. En 21 diseños se concibe la entrada a las cavidades por los lados y por encima; tan solo en seis de ellos se planteó la entrada a la cavidad por la parte inferior.

El color principal en la superficie de los diseños fue el blanco, seguido del gris claro, diversos tonos de sepia y finalmente el anaranjado. No había ningún tipo de recomendación de color según el clima o según la especie. En cinco propuestas, la orientación geográfica del nicho es aleatoria. Solo en dos casos se encontraron instrucciones acerca de cómo orientar las cavidades.

Las estrategias para que estas oquedades

arquitectónicas no sean usadas por la paloma urbana, considerada tradicionalmente como una plaga, se limitan en la mayoría de los casos a limitar el tamaño de la entrada a la cavidad; sin embargo, en algunos trabajos se incluyen formas planas horizontales a resguardo, lo que facilita el anidamiento de este tipo de aves (Roldan, 2010).

En 16 de las 33 propuestas no es claro el aspecto de la ventilación y el desagüe de la cavidad. En lo relacionado con el manejo del guano de las aves y murciélagos, en los proyectos examinados no se halló ninguna claridad a este respecto.

Discusión

Puede afirmarse, entonces, con base en esta revisión, que Colombia, pese a que es uno de los países más biodiversos del planeta, aún no tiene una cultura de inclusión de la fauna en entornos urbanos reflejada en las pertinentes propuestas de diseño y arquitectura. Por el contrario, son los países desarrollados, en donde más menguada se encuentra la biodiversidad, los que han reconocido el gran valor de la fauna nativa en los entornos urbanos, y han auspiciado y desarrollado numerosos proyectos para propiciar su reintroducción en el hábitat humano.

En tal sentido, en países como Estados Unidos hay una variedad de propuestas para fomentar la presencia de murciélagos en las ciudades. Esto representa una verdadera innovación cultural para fomentar la convivencia humana con especies como este quiróptero que no goza entre las gentes propiamente de una buena imagen como si la tienen las aves.

Siguiendo el ejemplo de Estados Unidos, sería interesante diseñar en Colombia una propuesta para incluir en los diseños arquitectónicos elementos que contribuyan a mejorar la

aceptación de los murciélagos por la población urbana, dado su probado valor como controlador de plagas y dispersador de semillas. Mucho más deseable esto si consideramos que en Colombia, de las 518 especies de mamíferos, 203 son quirópteros (Mantilla, 2015) (SIB, 2018) (Mayorga, 2016) (Saenz, 2014).

En los proyectos que con tal propósito se desarrollen, para evitar problemas sanitarios y de corrosión a las estructuras, se podría aprovechar el guano generado por las especies que allí habitan como fertilizante de los jardines que complementan las propuestas.

Valga recalcar que la apariencia estética de un diseño con el propósito planteado en estas líneas es un factor determinante para su armónica integración con el paisaje urbano, dado que las propuestas tradicionales que integran a la fauna en la ciudad (como son las cajas nido y sus estructuras portantes), sustentadas más en la biología que en este aspecto visual, chocan con la cultura urbana pues solo contemplan factores relativos a los animales y hacen caso omiso de todo el potencial que un objeto arquitectónico así concebido encierra para contribuir a cimentar una conciencia de conservación de la fauna nativa.

Conclusiones

Recientemente ha aparecido una conciencia acerca de que el hecho de que la fauna pueda refugiarse en la ciudad no es asunto solo de biólogos, ecólogos o ambientalistas: profesionales como el diseño industrial, la arquitectura y el urbanismo pueden hacer aportes que van más allá de incluir árboles como estrategia de sostenibilidad de la biodiversidad. Las tecnologías existentes, al alcance hoy de arquitectos y diseñadores, pueden contribuir a que este deseable y cercano hábitat con la fauna no represente riesgo para la salud humana.

Al analizar el tema de la relación de la fauna nativa con los habitantes de la ciudad es notorio el creciente interés en los países desarrollados, por la relación entre arquitectura y fauna nativa, en contraste con el poco interés que despierta el tema en los países menos desarrollados que son, paradójicamente, algunos de los más ricos en biodiversidad, como Colombia. Aquí, como lo demuestra nuestra revisión sobre el tema, son prácticamente inexistentes las propuestas de arquitectos y diseñadores para incluir en sus proyectos de ciudad la fauna nativa.

Colombia, país megabiodiverso, debería considerar muy particularmente incluir en sus diseños urbanos algunos elementos para propiciar el hábitat de aves, murciélagos e insectos, pues estos contribuyen a la calidad del medio ambiente urbano. Entre las especies de interés examinadas los insectos son las especies de fauna menos tenidas en cuenta en las diferentes propuestas.

Si se construyen infraestructuras que contribuyan a lograr ese objetivo, la ciudad puede constituirse en un verdadero refugio de fauna nativa. En el mismo sentido los arquitectos y diseñadores pueden con sus proyectos destinados a este propósito, propugnar procesos de sensibilización y conservación de la biodiversidad. Un aspecto no menos importante de un proyecto urbanístico y arquitectónico que involucre fauna nativa en libertad es que puede fungir como un hito urbano dinamizador de actividades socioeconómicas alrededor del disfrute de la naturaleza.

Las propuestas orientadas con este propósito deberán tener especial cuidado de aspectos como la textura, para facilitar la sujeción de las aves nativas y prestar especial atención a la temperatura máxima alcanzada en un día de

verano, ya que una adecuada termorregulación de la cavidad aumenta las probabilidades de ocupación. Como es sabido, el color contribuye a esa regulación. Es este un factor no meramente decorativo sino funcional, ya que una caja pintada de blanco absorbe, por este solo hecho, 50% menos calor que una caja negra (Griffiths, 2017). Hay que recordar, además, que las aves prefieren hacer sus nidos en estructuras que tengan los mismos colores del entorno para camuflarse (Bailey, 2015).

Para el caso Colombiano es importante diseñar estructuras para aves nativas que eviten que se alojen en ellos las palomas como *Columba livia*, que no son nativas del país y pueden desplazar a otras aves autóctonas.

Agradecimientos

1. Fundación Alejandro Ángel Escobar, Beca Colombia Biodiversa.
2. Universidad del Valle, sede Meléndez, vicerrectoría de investigaciones.

Literatura citada

- Bailey (2015). "Birds build camouflaged nests". *American Ornithologists Union*, 132.
- Cockle (2010). "Supply of tree-holes limits nest density of cavity-nesting birds in primary and logged subtropical atlantic forest". *Biological conservation*, 2851-2857.
- Griffiths (2017). "surface reflectance drives nest box temperature profiles and thermal suitability for target wildlife". *PLOS one*, 1-22.
- Juana, I. D. (2015). "Gestión de zonas verdes urbanas y periurbanas para la conservación de la biodiversidad: el caso de Vitoria-Gasteiz". *Sociedad Española de Ciencia Forestales*, 39, 313-322.
- Lara (2007). "Guacamayas Ara introducidas en Medellín". *Boletín SAO, Sociedad Antioqueña de Ornitología*, 17, 104-110.
- Mantilla (2015). "Cuántas especies de murciélagos hay en Colombia" (entrevista a Mantilla Maluk experto en murciélagos de Colombia). Obtenido de Radio Nacional de Colombia, entrevista a Mantilla Maluk, experto en murciélagos de Colombia: <https://www.radionacional.co/episodio/cuantas-especies-de-murcielagos-existen-en-colombia>
- Mayorga (2016). "Murciélagos, siempre amenazados, nunca comprendidos". *Pesquisa Javeriana*, <http://www.javeriana.edu.co/pesquisa/wp-content/uploads/2016/09/Pesquisa-37.pdf>.
- Molina (2011). "Metropolis and birds". *Revista Alarife*, 2, 46-48.
- Montoya (2016). "Reconocimiento de la biodiversidad urbana para la planeación en contextos de crecimiento informal". *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 9, 232-275.
- Newton (1994). "The role of nest sites in limiting the numbers of hole-nesting birds: a review". *Biological Conservation*, 265-274.
- Palmett (2016). "Externalidades ambientales ocasionadas por la urbanización en la ciudad de Medellín". *Procesos Urbanos*, 3, 38-54.
- Peña (2016). "Estudio preliminar de la avifauna en el campus de la Universidad de la Amazonia, en Florencia, Caquetá, Colombia". *Revista Biodiversidad Neotropical*, 6, 85-92.
- Roldán (2010). "Arquives, formulación de estrategias para el control de las patologías derivadas de la relación aves-edificación". Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Sáenz (2014). Agencia de Noticias U.N. Obtenido de agencia de noticias U.N.: <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/un-cuenta-con-la-mayor-coleccion-de-murcielagos-del-pais.html>.
- Salas (1999). "Árboles muertos en pie y su relación con las aves silvestres en un bosque de México". *Observatorio medioambiental*, 2, 287-294.
- SIB (2018). SIB Colombia. Obtenido de <https://www.sibcolombia.net/actualidad/biodiversidad-en-cifras/>

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

CÓMO CITAR

Volumen 9 (1), año 2018

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

Dinámica espacio-temporal del uso del suelo y su efecto sobre la degradación de los recursos hídricos: caso de la cuenca del río Juqueri – Brasil

Perez-Ortega, D.J., Solarte, J.G., Pantoja-Díaz, J.J. y Martins-Pompêo, M.L. (2018). Dinámica espacio-temporal del uso del suelo y su efecto sobre la degradación de los recursos hídricos: caso de la cuenca del río Juqueri – Brasil. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 9(1), 15-28.

Prácticas agrícolas y riesgos a la salud por el uso de plaguicidas en agricultores subregión Mojana – Colombia

Agricultural practices and risks to health from the use of pesticides in agricultural subregion Mojana - Colombia

Candelaria Gordon Morante & José Luis Marrugo Negrete, 29-40.

Uso del suelo y su influencia en la presión y degradación de los recursos hídricos en cuencas hidrográficas

Perez-Ortega, D.J., Segovia-Ortega, J.A., Cabrera-Moncayo, P.C., Delgado-Vargas, I.A. y Martins-Pompêo, M.L. (2018). Uso del suelo y su influencia en la presión y degradación de los recursos hídricos en cuencas hidrográficas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 9(1), 41-58.

Validación de un modelo matemático para la predicción de la fermentación y secado del grano de cacao

Mejía-Córdoba, C.A. (2018). Validación de un modelo matemático para la predicción de la fermentación y secado del grano de cacao. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 9(1), 59-70.

Influence of cut, packaging and storage temperature on physicochemical aspects of minimally processed Carica papaya cv. 'Formosa'

Carvalho-Lima, P.C., Souza, B.S. y Fyfe, S. (2018). Influence of cut, packaging and storage temperature on physicochemical aspects of minimally processed Carica papaya cv. 'Formosa'. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 9(1), 71-80.

Los compuestos fenólicos: un acercamiento a su biosíntesis, síntesis y actividad biológica

Martin-Gordon, D.A. (2018). Los compuestos fenólicos: un acercamiento a su biosíntesis, síntesis y actividad biológica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 9(1), 81-104.

Exigencias nutricionales de proteína bruta y energía metabolizable para pollos de engorde

Torres-Novoa, D.M. (2018). Exigencias nutricionales de proteína bruta y energía metabolizable para pollos de engorde. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 9(1), 105-114.

Aproximación sistémica de la sostenibilidad en la producción de Bioetanol

Ibarra-Vega, D. y Olivar-Tost, G. (2018). Aproximación sistémica de la sostenibilidad en la producción de Bioetanol. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 9(1), 115-126.

Evaluación del recurso hídrico superficial en la subcuenca hidrográfica del río Frío en el Departamento de Cundinamarca: oferta, demanda y calidad del agua

Hoyos-Chaverra, M.A., Rodríguez-Barrientos, D.A. y Torres-Quintero, J.E. (2018). Evaluación del recurso hídrico superficial en la subcuenca hidrográfica del río Frío en el Departamento de Cundinamarca: oferta, demanda y calidad del agua. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 9(1), 127-136.

An environmental noise study in the industrial, commercial, residential areas and arterial roads in western Bogotá, Colombia

Guevara-Luna, M.A. y Guevara-Luna, F.A. (2018). An environmental noise study in the industrial, commercial, residential areas and arterial roads in western Bogotá, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 9(1), 137-144.

Evaluación de una estrategia centralizada y una descentralizada para el control de contaminación en cuerpos hídricos

Polanía-Janazasoy, A.V. y Calderón-Vallejo, L.F. (2018). Evaluación de una estrategia centralizada y una descentralizada para el control de contaminación en cuerpos hídricos. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 9(1), 145-156.

Validación de un instrumento de investigación para el diseño de una metodología de autoevaluación del sistema de gestión ambiental

Hernández, H.A. y Pascual-Barrera, A.E. (2018). Validación de un instrumento de investigación para el diseño de una metodología de autoevaluación del sistema de gestión ambiental. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 9(1), 157-164.

DOCUMENTOS DE TRABAJO

Contaminación odorífera: causas, efectos y posibles soluciones a una contaminación invisible

Ramos-Rincón, J.M., Bermudez A. y Rojas, T. (2018). Contaminación odorífera: causas, efectos y posibles soluciones a una contaminación invisible. (Documento de trabajo). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 9(1), 165-180.

Compilación y análisis de diseños arquitectónicos con cavidades para incluir la fauna nativa en los ambientes urbanos

Ruiz-Cruz, X. E. (2018). Compilación y análisis de diseños arquitectónicos con cavidades para incluir la fauna nativa en los ambientes urbanos. (Documento de trabajo). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 9(1), 181-186.

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

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 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.

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 (<http://riaa.unad.edu.co/>).

Temáticas de la revista

Los artículos publicados en RIAA se encuentran dentro de temas relacionados con

1. Agroecología
2. Fisiología y Nutrición animal
3. Etología y bienestar animal
4. Modelos de producción sostenible
5. Impacto ambiental de los sistemas de producción
6. Uso y manejo del suelo
7. Desarrollo rural, Educación y Proyección social
8. Biotecnología y energías alternativas
9. Sistemas Agroforestales
10. Agroforestería, Agrobiodiversidad
11. Impacto ambiental
12. Higiene y seguridad laboral
13. Principios y estrategias de gestión ambiental
14. Tecnologías limpias
15. Modelación Ambiental
16. Residuos sólidos
17. Manejo de recursos naturales
18. Riegos y drenajes
19. Dendrología
20. Gestión integral de residuos sólidos

Proceso de arbitraje de los artículos

El editor recibe los manuscritos postulados para publicación y revisa que estén orientados a las temáticas de RIAA y conforme a las normas de publicación. Después de esto, los originales pasan al Comité Editorial para designación de pares externos. Todo original se somete a arbitraje en la modalidad de doble ciego, al menos por dos pares, los cuales deben ser académicos, especialistas o árbitros ad hoc. De acuerdo con el dictamen de los pares (el cual se registra en el formato para concepto de evaluación), se solicita o no a los autores la realización de modificaciones mayores o menores y la adecuación de los originales a la política editorial de la revista. En caso de que un documento presente un concepto

favorable y otro desfavorable, será enviado a un tercer evaluador cuya opinión será definitiva, siendo el Comité Editorial el encargado de dirimir cualquier controversia que se presente con respecto a las evaluaciones, y es la instancia que decide qué artículos serán publicados. Las decisiones del Comité Editorial son inapelables. Las correcciones ortográficas en el texto pueden ser hechas directamente por el Comité Editorial de la revista, sin consultar a los autores. 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.

Periodicidad

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

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).

Cesión de derechos

Cuando RIAA recibe la postulación de un original 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 sistemas y procesos de indexación. RIAA autoriza la reproducción y citación del material de la revista, siempre y cuando se indique de manera ex-

plicita 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.

Originalidad y exclusividad

Los originales presentados para su publicación en RIAA no deben estar postulados, aceptados o publicados simultáneamente en otra revista. Los autores deben diligenciar, firmar y entregar la carta de exigencia de originalidad del artículo.

Información general

Los manuscritos deben ser presentados como documento de texto, en MS Word, con las normas de estilo de la *American Psychological Association (APA)*, 3ª edición en Español o 6ª en Inglés. Se recomienda que la extensión de los manuscritos postulados para publicación no exceda 15 páginas.

Idioma: Los manuscritos enviados pueden estar escritos en portugués, español o inglés.

Presentación del manuscrito

Página de título: El objetivo de esta página es reunir los elementos claves del manuscrito. Debe incluir los ítems señalados a continuación.

Título del artículo. Debe ser claro, preciso e informativo, procurando no excederse de 20 palabras. Los nombres científicos deben ir escritos en letra cursiva, de acuerdo con la nomenclatura científica. Evite el uso de abreviaturas y fórmulas.

Autor(es). Escriba el nombre completo de cada autor, especificando el nombre, primer y segundo apellido. En el siguiente renglón, especifique la institución de afiliación (donde el trabajo enviado fue realizado), la dirección y el país. Indique el correo electrónico de

cada autor. Una vez enviado el manuscrito a evaluación, la lista de autores no puede ser modificada.

Correspondencia. Al final de la página señale el autor responsable de la correspondencia del manuscrito indicando el nombre, teléfono, fax (con códigos de área), dirección completa y el correo electrónico. El autor de correspondencia es aquel que se va a encargar de mantener contacto con la revista durante todo el proceso de revisión y publicación.

Página de encabezado

Título del artículo. Es el mismo reportado en la página de título.

Resumen. Debe tener un máximo de 250 palabras. Deberá ofrecer una idea clara del contenido del artículo. El resumen debe describir brevemente los objetivos de la investigación, los métodos, los principales resultados y puntos de discusión y las conclusiones. Evite el uso de abreviaturas. El resumen no debe contener referencias, a menos que sean estrictamente necesarias, en cuyo caso debe incluir la cita completa.

Palabras clave. Indique las palabras clave que sirvan como guía para la clasificación del artículo y faciliten la elaboración del índice de materias. Se sugiere emplear un máximo de cinco palabras, las cuales deben presentarse en orden alfabético. Evite el uso de palabras en plural y frases. No repita palabras que ya hayan sido usadas en el título.

Abstract. Corresponde al resumen del manuscrito traducido al inglés. Debe poseer una estructura y contenido igual al especificado en español o portugués.

Key Words. Palabras clave en inglés. Deben ser las mismas usadas en español, pero

en idioma inglés. Deben presentarse en orden alfabético.

Cuerpo del artículo de investigación científica y tecnológica

Introducción. Debe indicar claramente los objetivos del trabajo y proporcionar los antecedentes necesarios para dar contexto internacional al estudio realizado. Debe incluir la revisión de literatura con las investigaciones más recientes que aportaron ideas fundamentales para el planteamiento y desarrollo del trabajo. En esta sección no se deben incluir datos ni conclusiones del trabajo que está dando a conocer.

Materiales y métodos. La presentación debe ser clara, concreta y suficientemente detallada para que el trabajo pueda ser reproducido. Debe describir los procedimientos empleados en la investigación, incluyendo diseño estadístico y análisis de datos. Esta sección deberá estructurarse indicando tipo de estudio, sitio, condiciones geoclimáticas, coordenadas del sitio de estudio, animales de estudio, métodos de laboratorio, aspectos éticos, etc. En caso de haber usado un método ya publicado, sólo debe indicarse la referencia; en tal caso, únicamente las modificaciones relevantes deben ser incluidas en la descripción. Las cifras menores de diez deben escribirse en letras y las mayores, en números.

Resultados. Corresponde a la información concisa de los hallazgos de la investigación. No se deben incluir comentarios ni referencias a otros trabajos. La información presentada debe seguir una secuencia lógica en el texto, tablas e ilustraciones, de acuerdo a la forma como se presentaron los métodos. No se debe duplicar información en el texto, tablas o ilustraciones.

Discusión y conclusiones. Es la interpretación de los resultados obtenidos. Indique las contri-

buciones significativas de su estudio, las limitaciones, ventajas y posibles aplicaciones. Discuta sus resultados a la luz de investigaciones internacionales y señale el mayor aporte de la investigación y las consecuencias ambientales. Resalte las conclusiones del estudio, así como las recomendaciones para futuras investigaciones.

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, en un párrafo que es opcional.

Literatura citada. Asegúrese de que todas las referencias citadas en el texto estén en la lista de referencias 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. Siga el formato que establece la revista para hacer citas, el cual aparece más adelante en la sección Literatura citada.

Nota: En algunos casos el Comité Editorial puede aceptar manuscritos con la siguiente estructura: Introducción, Materiales y métodos, Resultados y Discusión, Conclusiones, Agradecimientos y Literatura citada.

Se recomienda una extensión de 6000 palabras.

Cuerpo del artículo de reflexión

Un artículo de reflexión es un texto donde el autor presenta resultados de una investigación con una perspectiva analítica, interpretativa y crítica, basado en observaciones o fuentes originales. **Estructura:** Introducción, Planteamiento de la temática, Desarrollo, Conclusiones, Agradecimientos y Literatura citada.

Cuerpo del artículo de revisión

Un 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 2 años. **Estructura:** Introducción, Planteamiento de la temática, Recuperación bibliográfica, Tendencias en el campo de conocimiento, Conclusiones, Agradecimientos y Literatura citada.

Consideraciones de formato

Figuras y tablas. Los títulos de ambas deben estar centrados, en letra cursiva, tamaño de 10 puntos y numerados en arábigos. Tanto las tablas como las figuras deben ocupar el lugar más adecuado dentro del texto.

Figuras: Dentro del texto refiérase a la figura de la siguiente forma: (Figura 1). Las figuras deben ir sin líneas de división tanto en las abscisas como en las ordenadas y sin volumen ni sombra (barras o puntos en tres dimensiones), a menos que haya más de dos ejes. Los ejes y señaladores deben ser claros y grandes. Cada figura debe tener su correspondiente leyenda. Las abreviaturas y acrónimos deben ser explicados en la leyenda de la figura. Las figuras deben ser enviadas en formato .jpg o .gif, y deben tener la calidad necesaria para su publicación (más de 300dpi). Sólo se aceptarán figuras en blanco y negro.

Tablas: Dentro del texto refiérase a la tabla de la siguiente forma: (Tabla 1). Presente los datos en una tabla real con líneas y columnas, a doble espacio, 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.

Ecuaciones. Deben ir justificadas a la izquierda y numeradas consecutivamente. Utilice el Editor de Ecuaciones de Word 2003. El significado de cada símbolo debe aclararse en el texto del manuscrito.

Pie de página. No haga uso de este recurso en ninguna página.

Nomenclatura y unidades. Use las reglas y convenciones internacionales según el Sistema Internacional de Unidades (SI). Los nombres comunes de las especies deben ser reportados en minúsculas, seguidos del nombre científico de la especie entre paréntesis. Los nombres científicos deben presentarse en letra cursiva. Después de la primera mención, los géneros deben limitarse a la primera letra.

Literatura citada. En el cuerpo del artículo las referencias se citarán por el apellido del autor y el año de publicación separados por una coma y entre paréntesis. Las referencias se incluirán al final del texto como un apartado más del mismo, listadas en orden alfabético, con sangría francesa. Las referencias electrónicas deben estar respaldadas por instituciones científicas; no se aceptan como referencias aquellos documentos que provengan de casas comerciales o páginas Web privadas. Las citas se deben elaborar de acuerdo con las normas APA, ejemplos de las cuales se presentan a continuación:

Artículo de una revista:

Skinner, M. (2005). Regulation of primordial follicle assembly and development. *Human Reproduction*, volumen (número), 461-471. Ciudad, país: Editorial.

Libro completo:

Gomella, C. & Guerree, H. (1977). *Tratamiento de aguas para abastecimiento público*. Barcelona, España: Editores Técnicos Asociados.

Capítulo de un libro:

Casanovas, E., Novoa, R., Socorro, A., Parets, E., González, M. & Liriano, R. (2007). Crianza porcina en la agricultura urbana de Cienfuegos (Cuba). En G. Castro (Ed.), *Porcicultura urbana y periurbana en ciudades de América latina y el Caribe* (pp. 19-24). Lima, Perú: Editorial.

Tesis y Trabajos de grado:

Niño, P. (2011). Modelos de reciclaje de residuos. Maestría en..., Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Documentos de congresos o seminarios:

De Souza, J. (2010). Construir un día después del desarrollo. En L. Carvalho (autoridad máxima del congreso), *Tercer Congreso Nacional de Educación Rural llevado a cabo en ciudad, país*.

Documentos en Internet*: Merzthal, G. (2004). *Marco normativo y legal para la agricultura urbana*. Recuperado de <http://www.bibliotecaverda.wikieco.org/cuaderno142.pdf>

*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.

Nota:

Cuando no se disponga de los datos básicos de publicación de un escrito, se debe incluir la respectiva página web, o en su defecto el doi, o si no el PMID. Los autores asumen la responsabilidad de devolver a la revista las correccio-

nes de las artes finales de su artículo a la mayor brevedad posible. El Comité editorial se toma la libertad de publicar o no, suplementos para apoyar la publicación de resúmenes en eventos científicos nacionales e internacionales.

INSTRUCTIONS TO AUTHORS FOR THE PRESENTATION OF RESEARCH ARTICLES

I. General Information

Manuscripts should be submitted as a text document in MS Word, with the following style rules:

- * Letter size paper
- * Times New Roman font, size 12.
- * Paragraph double spacing.
- * Left justified.
- * 2.5 cm margins on all sides.
- * Headers or footers are not allowed.
- * The titles of the different sections and sub-sections of the article should be numerically sorted. Do not hold caps or bold letters.
- * Use continuous numbering of lines in the whole document.
- * Consecutively number all pages of the document, including title page, references, charts, figures, etc.
- * Do not use *italics* to indicate words of Latin origin such as "in vivo", "et al.", "Per se".
- * Use decimal points (not commas).
- * Make sure that each new paragraph is well indicated.

II. Language

The presented manuscripts may be written in Spanish or English. In either case, make sure they are well written.

III. Manuscript Presentation

A. Title page. The purpose of this page is to bring together the key elements of the manuscript. You must include the items listed below.

1. Article title. It should be clear, precise and informative, taking care not to exceed 20 words. Scientific names should be written in *italics*, according to the scientific nomenclature. Avoid using abbreviations and formulas.

2. Author(s). Enter the full name of each author, specifying the first and last name. On the next line, specify the institutional affiliation (where the submitted work was completed), address and country. Enter the email of each author. After submitting the manuscript for evaluation, the list of authors cannot be changed.

3. Correspondence. At the bottom of the page indicate the author responsible for manuscript correspondence including name, telephone, fax (with area code), complete address and email. The corresponding author is the one who will be responsible for maintaining contact with the journal during the whole reviewing and publication process.

B. Header Page

1. Title of the article. The same as reported on the title page.

2. Summary. You must have a maximum of 250 words. A clear picture of the article contents should be provided. The summary should briefly describe the research objectives, methods, main findings and discussion points and conclusions. Avoid using abbreviations. The abstract should not contain references, unless strictly necessary, but in case it is needed the full citation must be included.

3. Keywords. Enter the key words in Spanish to serve as a guide to the classification of the article and facilitate the development of the index. Using a maximum of five (5) words is suggested, these should be presented in alphabetical order. Avoid using plural words and phrases. Do not repeat words that have already been used in the title.

4. Abstract. It corresponds to the abstract of the manuscript translated into English. It must have a structure and a similar context to the one specified in Spanish.

5. Key Words. Keywords in English. They must be the same used in Spanish, but in English. They should be presented in alphabetical order.

C. Article Body

1. Introduction. It should clearly state the objective of the work and provide the necessary background to give an international context to the developed study. It should include a review of literature with the most recent research that contributed with fundamental ideas to the planning and development of the work. This section should not include data nor conclusions from the work that is being reported.

2. Materials and methods. The presentation should be clear, specific and detailed enough so the work can be reproduced. It should describe the procedures used in research, including statistical design and analysis. This section should be structured indicating type of study, place, geo-climatic conditions, geographical coordinates of the study site, animal studies, laboratory methods, ethical issues, etc. In this case it should have used an already published method, only the reference must be indicated, in which case, only relevant modifications should be included in the description. The numbers under ten (10) must be written and the higher ones to these must be enumerated.

3. Results. It corresponds to the concise findings of the research. Do not include comments or references to other works. The information presented should follow a logical sequence in the text, charts and illustrations, according to

the form methods were presented. Do not duplicate information in the text, graphs or illustrations.

4. Discussion and conclusions. It is the interpretation of the obtained results. Indicate the significant contributions of the study, limitations, advantages and possible applications. Discuss your results in the light of international research and point to the greater contribution of the research and its environmental consequences. Highlight the study's conclusions and recommendations for future research.

5. Acknowledgments. This section will be used to recognize those individuals or institutions that have made substantial contributions to the work or that have provided technical assistance in the investigation (financial, logistics, intellectual, among others.). The acknowledgments should go as a separate section after the discussion and before the references. This paragraph is optional.

6. References. Make sure all references cited in the text are in the reference list and vice versa. Please note that items will not be accepted without references. Follow the established format for citations in the journal (Section 4. Cited Literature).

D. Format Considerations

1. Figures and Charts. Figures and charts should be included along with the text of the manuscript on separate sheets at the end of the document, a figure or chart per page. Submit the title and legend of the figures and the title of the chart as a list in a separate section. Both charts and figures must be consecutively numbered and cited in the text with arabic numerals **i. Figures:** Within the text refer to figure as it follows: (Figura 1) Figures should not be lines of divi-

sion in both the abscissa as in the ordinates and without volume or shadow (bars or points in three dimensions) unless there are more than two axes. Axes and signposts should be clear and large. Each figure must have a corresponding legend. Abbreviations and acronyms should be explained in the legend of the figure. Figures should be submitted in .jpg or .gif, and have the quality needed for publication (more than 300dpi) **ii. Charts/Tables:** Within the text make reference to the chart as it follows: (Chart 1). Present data in a real chart with rows and columns, double-spaced without vertical divisions or divisions. You must use the International System of Units (SI). Abbreviations and acronyms should be explained as footnotes in each table. In no case shall there be tables in landscape format.

2. Equations. They should be left justified and numbered consecutively. The numbers should be right justified and enclosed in brackets (). Use the Equation Editor in Word 2003. The meaning of each symbol should be clarified in the text of the manuscript.

3. Footer. Do not use footnotes.

4. Nomenclature and Units. Use the rules and conventions: the International System of Units (SI). The common names of species should be reported in lowercase, followed by the scientific species name in parentheses. Scientific names should appear in italics. After their first mentioning, genders should be simplified to the first letter.

E. Cited References. In the body of the article text references are cited by author's surname and year of publication separated by a space and brackets (). In the case of quoting two authors use the symbol " & ". When the citation refers to more than two

authors use the word "et al". Italicized. When citing more than one publication, it should be in chronological order and then alphabetically. For example, (Joe 1970, Alvarado & Gómez 1999, 2004, Oates 2001, Roberts 2004, Smith 2006, Albert et al. 2008).

References are included at the end of the text as one more headland of the same section, listed in alphabetical order, with french indent. Electronic references must be supported by scientific institutions; they won't be accepted as reference documents that come from commercial firms or private Web pages. Appointments will be documented according to the models listed below:

*** Published Arte:**

Halpern, S.D., P.A. Ubel & A.L. Caplan. 2003. Solid-organ transplantation in HIV-infected Patients. *Engineering New England Journal*, 347: 284-287

*** Article with supplement:**

Geraud, G., E.L. Spierings & C. Keywood. 2002. Tolerability and safety of frovatriptan with short-and long-term Treatment of migraine and used for in comparison with sumatriptan. *Headache*, 42 (Suppl 2): S93-9

*** Book**

F. 1982. *Medical and surgical management*. 2nd Ed W B Saunders, Philadelphia.

*** Book:**

Gilstrap, L.C., F.H. Cunningham & J.P. VanDorsten (Eds.). 2007. *Operative obstetrics*. 2nd Ed McGraw-Hill, New York.

*** Book Chapter:**

Meltzer, P.S., A. Kallioniemi & J.M. Trent. 2005. Chromosome Alterations in human solid tumors. In: Vogelstein B, Kinzler FG

(Eds.). *The genetic basis of human cancer*. McGraw-Hill, New York, pp. 91-110

* **Graduate Thesis and Dissertations:** Gómez-Mayor M.S. 1989 violent mortality in the Judicial District of Alcalá de Henares [thesis / dissertation]. Alcalá de Henares: Faculty of Medicine, University of Alcalá de Henares.

* **Internet *:**

T. Collum 1997. *Supplementation Strategies for beef cattle*. Texas Agricultural Extension Service. The Texas A & M University System. Available online: <http://agpublications.tamu.edu/pubs/eanim/b6067.pdf>. [Include the date this document was consulted].

* Only use fonts that correspond to electronic serials, with institutional support, which contents cannot be changed or removed in the future. Do

not use information from commercial sites or sites of opinion.

Note: Check that all references cited in the text appear in the literature cited section and vice versa.

IV. Clarification Note

The authors assume responsibility to return to the magazine the corrections of the final artwork (galley) of the article, as soon as possible. The Editorial Board takes the liberty to publish or not, supplements to support the publication of abstracts in national and international scientific events.

V. Manuscript submission.

Manuscripts that are ready and in accordance with the format of the magazine, should be sent as an attachment to the riaa@unad.edu.co

INSTRUÇÕES PARA OS AUTORES PARA A APRESENTAÇÃO DOS ARTIGOS DE INVESTIGAÇÃO

I. Informação Geral

Os manuscritos devem ser apresentados em documento de texto, MS Word, com as seguintes normas de estilo:

- Papel tamanho Carta (21,59 x 27,94 cm) (8,5 x 11 in)
- Fonte Times New Roman, tamanho 12.
- Dupla espaçamento entre linhas.
- Alinhar o texto à esquerda.
- Margens de 2.5 cm em todos os lados.
- Não se admite cabeçalhos nem rodapés.
- Os títulos das diferentes secções e subsecções do artigo devem estar ordenados numericamente. Não use maiúsculas em negrito.
- Use numeração contínua das linhas no documento todo.
- Numere consecutivamente todas as páginas do documento, incluindo a página do título, referências, tabelas, figuras, etc.
- Não use o itálico para indicar palavras oriundas do latim como *in vivo*, et al., Per se.
- Use pontos decimais (não virgulas)
- Assegure-se de que cada novo parágrafo fique bem indicado.

II. Idioma

Os manuscritos enviados podem ser escritos em Espanhol ou Inglês. Em qualquer dos casos, tem que assegurar de que estão muito bem escritos.

III. Apresentação do manuscrito

A. Página do título. O objectivo desta página é reunir os elementos-chave do manuscrito. Deve incluir os itens assinalados a seguir:

1. Título do artigo. Deve ser claro, preciso e informativo, procurando não exceder as 20 palavras. Os nomes científicos devem ser escritos em itálico, de acordo com a nomenclatura científica. Evite o uso de abreviaturas e fórmulas.

2. Autor(es). Escreva o nome completo de cada autor, especificando o apelido, nome e sobrenome. Na próxima linha, especifique a afiliação institucional (onde o trabalho enviado foi realizado), o endereço e o país. Indique o e-mail de cada autor. Uma vez enviado o manuscrito para revisão, a lista de autores não pode ser modificada.

3. Correspondência. Na parte inferior da página assinale o autor responsável pela correspondência do manuscrito indicando o nome, telefone, fax (com os códigos da área), morada completa e e-mail. O autor da correspondência é aquele que vai estar encarregue de manter contacto com a revista durante todo o processo de revisão e publicação.

B. Página do Cabeçalho

1. Título do artigo. O mesmo escrito na página do título.

2. Resumo. Deve ter um máximo de 250 palavras. Deverá oferecer uma ideia clara do conteúdo do artigo. O resumo deve descrever brevemente os objectivos da investigação, os métodos, os principais resultados e pontos de discussão e as conclusões. Evite o uso de abreviaturas. O resumo não deve conter referências, a não ser que sejam estritamente necessárias, neste caso deve incluir a citação completa.

3. Palavras-chave. Indique as palavras-chave em espanhol que sirvam como guia para a classificação do artigo e que facilitem a elaboração do índice de matérias. Sugiro usar um máximo de cinco (5) palavras, as quais devem apresentar-se em ordem alfabética. Evite o uso de palavras no plural e frases. Não repita palavras que já tenham sido usadas no título.

4. Abstract. Corresponde ao resumo do manuscrito traduzido em inglês. Deve ter uma estrutura e conteúdo igual ao especificado em espanhol.

5. Key Words. Palavras-chave em inglês. Devem ser as mesmas usadas em espanhol, mas no idioma inglês. Devem apresentar-se por ordem alfabética.

C. Corpo do artigo

1. Introdução. Deve indicar claramente os objectivos dos trabalhos e proporcionar a base necessária para dar contexto internacional ao estudo realizado. Deve incluir a revisão da literatura com as investigações mais recentes que forneceram as ideias fundamentais para o planeamento e desenvolvimento do trabalho. Nesta secção não se deve incluir dados nem conclusões do trabalho que está dar a conhecer.

2. Materiais e métodos. A apresentação deve ser clara, concreta e suficientemente detalhada para que o trabalho possa ser reproduzido. Deve descrever os procedimentos empregues na investigação, incluindo delimitação estatístico e análise de dados. Esta secção deverá ser estruturada indicando o tipo de estudo, local, condições geoclimáticas, coordenadas do local dos estudos, animais de estudo, métodos de laboratório, aspectos éticos, etc. No caso de ter sido usado um método já publicado, só deve indicar a referência; neste caso, só as modificações relevantes devem ser incluídas na descrição. Os números inferiores a dez

(10) devem estar escritos e os maiores devem estar numerados.

3. Resultados. Corresponde à informação concisa dos resultados da pesquisa. Não inclua comentários nem referências de outros trabalhos. A informação apresentada deve seguir uma sequência lógica no texto, tabelas e ilustrações, de acordo os métodos apresentados. Não duplicar informação no texto, tabelas ou ilustrações.

4. Discussão e conclusões. É a interpretação dos resultados obtidos. Indique as contribuições significativas do seu estudo, as limitações, vantagens e as possíveis aplicações. Discuta os resultados à luz das pesquisas internacionais e que traga uma maior contribuição para a pesquisa e as consequências ambientais. Destaque as consequências do estudo, assim como as recomendações para futuras pesquisas.

5. Agradecimentos. Esta secção é utilizada para dar reconhecimento aquelas pessoas ou instituições que tenham feito substanciais contribuições para o trabalho ou tenham prestado assistência técnica na investigação (financeira, logística, intelectual, entre outras). Os agradecimentos devem ir como uma secção separada depois da discussão e antes das referências. Este parágrafo é opcional.

Referências. Assegure-se de que todas as referências citadas no texto estejam na lista de referências e vice-versa. Tenha em conta que não se admitam artigos sem referências. Siga o formato estabelecido para citações na revista (Secção 4 -Literatura Citada).

D. Considerações para o formato

1. Figuras e Tabelas. As figuras e as tabelas devem estar incluídas junto com o texto do manuscrito, em folhas separadas no final

do documento, uma figura ou tabela por folha. Apresente o título e legenda das figuras e o título das tabelas em lista numa secção aparte. Tanto tabelas como figuras devem ser numeradas e citadas no texto de forma consecutiva com algarismos árabes.

..... **i.Figuras:** Dentro do texto refere a figura da seguinte forma: (Fig.1) As figuras não devem ter linhas de divisão tanto nas abcissas como nas ordenadas e volume nem sombra (Barras ou pontos em três dimensões), a menos que haja mais de dois eixos. Os eixos e sinais devem ser claros e grandes. Cada figura deve ter a respectiva legenda. As abreviaturas e acrónimos devem ser explicados na legenda da figura. As figuras devem ser enviadas no formato .jpg ou .gif, e devem ter a qualidade necessária para a sua publicação (mais de 300dpi).

..... **ii.Tabelas:** Dentro do texto refere a tabela da seguinte forma: (Tabela 1). Apresente os dados numa tabela real com linhas e colunas, em espaço duplo sem divisões verticais, nem divisões internas. Devem utilizar unidades dos Sistema Internacional (SI). As abreviaturas e acrónimos devem ser explicados como notas no rodapé em cada tabela. Não se admite, em nenhum caso, tabelas no formato oblongo.

2. Equações. Devem estar justificadas à esquerda e enumeradas consecutivamente. A numeração deve estar justificada à direita e entre parêntesis. Utilize o Editor de Equações do Word 2003. O significado de cada símbolo deve clarificar-se no texto do manuscrito.

3. Rodapé. Não use rodapés.

4. Nomenclatura e unidades. Use as regras e convenções internacionais: Sistema Internacional de Unidades (SI). Os nomes

comuns das espécies devem ser escritos em minúsculas, seguidos do nome científico da espécie entre parêntesis. Os nomes científicos devem apresentar-se em itálico. Depois da primeira menção, devem ser simplificados para a primeira letra.

E. Literatura citada.

No corpo do texto do artigo as referências se citarão por apelido do autor e o ano da publicação separados por um espaço e entre parêntesis. No caso de citar dois autores use o símbolo "&". Quando a citação faz referência a mais autores use a palavra et al., em itálico. Quando cita mais que uma publicação, deve citar por ordem cronológica e depois alfabética. Por exemplo, (Pérez 1970, Alvarado & Gómez 1999, 2004, Oates 2001, Roberts 2004, Smith 2006, Albert et al. 2008).

As referências são incluídas no final do texto como mais uma secção do mesmo, por ordem alfabética, com recuo deslocado. As referências electrónicas devem estar acompanhadas por instituições científicas; não se aceitam como referências documentos que provenham de casas comerciais ou páginas Web privadas. As citações se documentarão de acordo os modelos seguintes:

Artigo publicado:

Halpern, S.D., P.A. Ubel & A.L. Caplan. 2003. Solid-organ transplantation in HIV-infected patients. *New England Journal Engeniiering*, 347: 284-287

Artigo com suplemento:

Geraud, G., E.L. Spierings & C. Keywood. 2002. Tolerability and safety of frovatriptan with short- and long-term use for treatment of migraine and in comparison with sumatriptan. *Headache*, 42 (Suppl 2):S93-9

Livro:

Bradley, F. 1982. Medical and surgical management. 2nd Ed. W B Saunders, Philadelphia.

Livro editado:

Gilstrap, L.C., F.H. Cunningham & J.P. VanDorsten (Eds.). 2007. Operative obstetrics. 2nd Ed. McGraw-Hill, New York.

Capítulo do livro:

Meltzer, P.S., A. Kallioniemi & J.M. Trent. 2005. Chromosome alterations in human solid tumors. En: Vogelstein B, FG Kinzler (Eds.). The genetic basis of human cancer. McGraw-Hill, New York, pp. 91-110

Teses e Trabalhos de Pós-Graduação:

Gómez-Alcalde, M.S. 1989 Mortalidad violenta en el Partido Judicial de Alcalá de Henares [tesis doctoral/dissertation]. Alcalá de Henares: Facultad de Medicina de la Universidad de Alcalá de Henares.

Internet*:

Collum T. 1997. Supplementation strategies for beef cattle. Texas Agricultural Extension Service. The Texas A&M University System. Disponible en línea:

<http://agpublications.tamu.edu/pubs/ea-nim/b6067.pdf>. [Incluya la fecha en que este documento fue consultado].

*Apenas utilize fontes electrónicas que correspondem a publicações sérias, com apoio institucional, cujo conteúdo não possa ser modificado ou eliminado no futuro. Não utilize informação proveniente de páginas comerciais ou sites de opinião.

Nota: Confira se todas as referências citadas no texto aparecem na secção Literatura Citada e vice-versa.

IV. Esclarecimento

Os autores assumem a responsabilidade de devolver à revista as correções das artes finais (provas) do seu artigo, com a maior brevidade possível. O Comité Editorial toma liberdade de publicar ou não, suplementos para aprovar a publicação de resumos em eventos científicos nacionais e internacionais.

V. Envio dos manuscritos.

Os manuscritos que se encontrem preparados e de acordo com o formato da revista, devem ser enviados como anexo para o e-mail: riaa@unad.edu.co.